日機連17標準化－１

平成１７年度
人間共存・協調ロボットの安全基準策定
に関する調査研究報告書

平成１８年３月

社団法人　日本機械工業連合会

社団法人　日本ロボット工業会

序

我が国では、標準化の重要性は以前から十分認識されており、特に機械工業においてはきわめて精巧な規格が制定されてきています。また経済の国際化に伴い、世界的規模で規格の国際共通化が進められております。

しかし、我が国の規格の中には独自で制定したものもあり、国際化の視点での見直しを行う必要性が高まっています。このため弊会では経済産業省の委託を受けて、従来から機械工業に係わる国内規格の国際規格との整合化事業に取り組んで参りました。

近年、国際標準化にも新しい動きが起こり、製品を中心とした規格に加え、品質や環境などをはじめとするマネジメントに係わる規格などが制定されてきております。弊会においてもこの動きに対応し、機械安全、環境保全など機械工業におけるマネジメントにかかわる規格や、機械工業横断的な規格についての取り組みを強化しているところです。

具体的には、国内規格と世界標準との整合を目指した諸活動、機械安全規格整備とリスクアセスメント実施のガイド作成、各専門分野の機関・団体の協力による機種別・課題別標準化の推進などです。これらの事業成果は、日本発の国際規格への提案や国際規格と整合した日本工業規格(JIS)、団体規格の早期制定などとなって実を結ぶものであります。

こうした背景に鑑み、弊会では機械工業の標準化推進のテーマの一つとして__社団法人日本ロボット工業会に「人間共存・協調ロボットの安全基準策定に関する調査研究」を調査委託いたしました。本報告書は、この研究成果であり、関係各位のご参考に寄与すれば幸甚であります。

平成１８年３月

社団法人　日本機械工業連合会

会　長　　金　井　　務

はじめに

近年、産業用分野のみならず、非産業分野においても、公共の場や家庭内などで使用されるロボットの実用化が進んでおり、今後、このような人間共存・協調ロボットが急速に普及することが予想されております。

しかしながら、現在のところ、人間共存・協調ロボットに関する安全対策や規格などは整備されておらず、また、こうしたロボットの安全対策は、従来の産業用ロボットとは明らかに異なるため、現行の産業用ロボットに関する安全規格類を適用した安全対策では、不十分であります。

このような状況において、すでに実用化されている人間共存・協調ロボットの安全性確保及び今後の普及促進のために、こうしたロボットの安全基準の策定は急務であると共に、世界に先駆けてロボット大国である我が国から国際規格提案を行い、現在、準備段階である人間共存・協調ロボット分野での国際規格策定のイニシアティブをとることは、今後の我が国の国際規格戦略としても非常に重要であります。

本事業は、人間共存・協調ロボットに関する安全性標準化のための調査研究に基づく安全基準策定を目的としており、策定された安全基準を国際規格提案することにより、当該分野における我が国の国際標準化戦略を推進するものであると確信しております。

最後に、本事業の遂行にあたり、経済産業省及び関係機関のご指導と本事業を当会に委託された社団法人日本機械工業連合会のご高配に深謝すると共に、本事業にご協力いただいた人間共存・協調ロボット安全性標準化調査専門委員会（委員長　杉本旭　北九州市立大学教授）の委員各位のご尽力に対し、衷心より厚く御礼申し上げる次第であります。

平成１８年３月

社団法人　日本ロボット工業会

会　　長　稲　葉　　善　治

人間共存・協調ロボット安全性標準化調査専門委員会委員名簿

本委員会

	氏　名	機関名・所属・役職
委員長	杉本　旭	北九州市立大学　国際環境工学部環境機械システム工学科教授
委　員	高橋　浩爾	上智大学　名誉教授
〃	安藤　嘉則	群馬大学　工学部機械システム工学科助教授
〃	稲垣　荘司	愛知工科大学　非常勤講師
〃	吉田　誠	経済産業省　産業技術環境局情報電気標準化推進室情報二係長
〃	山田　陽滋	独立行政法人産業技術総合研究所　知能システム研究部門 安全知能研究グループグループ長
〃	池田　博康	独立行政法人産業安全研究所　機械ｼｽﾃﾑ安全研究ｸﾞﾙｰﾌﾟ主任研究官
〃	小林　政巳	川崎重工業㈱　技術開発本部システム技術開発センター 研究企画部企画グループ参事
〃	橋本　秀一	㈱デンソーウェーブ　ＦＡ事業部技術部技術企画室室長
〃	村上　弘記	石川島播磨重工業㈱　技術開発本部システム総合開発センター システムエンジニアリング部ロボティクスグループ課長
〃	松日楽信人	㈱東芝　研究開発ｾﾝﾀｰﾋｭｰﾏﾝｾﾝﾄﾘｯｸﾗﾎﾞﾗﾄﾘｰ研究主幹
〃	中村　久	㈱ジェイテクト　研究開発センターPI 研究部 革新要素技術研究室主担当員
〃	榊原　伸介	ファナック㈱　ロボット研究所名誉所長
〃	青山　元	富士重工業㈱　経営企画部クリーン事業ﾌﾟﾛｼﾞｪｸﾄｾﾞﾈﾗﾙﾏﾈｰｼﾞｬｰ
〃	三谷　宏一	松下電工㈱　生産技術研究所ﾋｭｰﾏﾝﾛﾎﾞｯﾄ技術開発ｸﾞﾙｰﾌﾟ主査技師
〃	大西　献	三菱重工業㈱　新製品宇宙部ロボット事業グループ主席技師
〃	村井　真二	㈱安川電機　ﾛﾎﾞﾃｨｸｽｵｰﾄﾒｰｼｮﾝ事業部ﾛﾎﾞｯﾄ工場 開発部開発第２課課長
〃	村瀬　有一	㈱富士通研究所　ﾍﾟﾘﾌｪﾗﾙｼｽﾃﾑ研究所自律ｼｽﾃﾑ研究部主任研究員
〃	蟹谷　清	㈱不二越　ロボット事業部ロボット製造所開発部部長
〃	加瀬　隆明	三菱電機㈱　情報技術総合研究所表示システム技術部主任研究員
〃	嶋地　直広	北陽電機㈱　経営企画室課長
〃	井野　重秋	㈱テムザック　研究所課長
〃	安藤　晃二	KUKA Robter GmbH　東京代表
〃	太田　康裕	トヨタ自動車㈱　ﾊﾟｰﾄﾅｰﾛﾎﾞｯﾄ開発部第３開発ｸﾞﾙｰﾌﾟ担当員
〃	黒澤　豊樹	黒澤Ｒ＆Ｄ技術事務所　所長
〃	山下　智輝	㈱前川製作所　技術研究所基盤技術開発グループ次長補
〃	大西　正紀	アシスト シンコー㈱　ｴﾝｼﾞﾆｱﾘﾝｸﾞ本部ｼｽﾃﾑｼｽﾃﾑｲﾝﾃｸﾞﾚｰｼｮﾝ部 担当部長

移動ロボット安全性検討ワーキンググループ

	氏　名	機関名・所属・役職
主　査	池田　博康	独立行政法人産業安全研究所　機械ｼｽﾃﾑ安全研究ｸﾞﾙｰﾌﾟ主任研究官
委　員	安藤　嘉則	群馬大学　工学部機械システム工学科助教授
〃	吉田　　誠	経済産業省　産業技術環境局情報電気標準化推進室情報二係長
〃	山田　陽滋	独立行政法人産業技術総合研究所　知能システム研究部門 安全知能研究グループグループ長
〃	小林　政巳	川崎重工業㈱　技術開発本部システム技術開発センター 研究企画部企画グループ参事
〃	橋本　秀一	㈱デンソーウェーブ　ＦＡ事業部技術部技術企画室室長
〃	村上　弘記	石川島播磨重工業㈱　技術開発本部システム総合開発センター システムエンジニアリング部ロボティクスグループ課長
〃	中村　　久	㈱ジェイテクト　研究開発センターPI 研究部
〃	松日楽信人	㈱東芝　研究開発ｾﾝﾀｰﾋｭｰﾏﾝｾﾝﾄﾘｯｸﾗﾎﾞﾗﾄﾘｰ研究主幹
〃	榊原　伸介	ファナック㈱　ロボット研究所名誉所長
〃	青山　　元	富士重工業㈱　経営企画部クリーン事業ﾌﾟﾛｼﾞｪｸﾄｾﾞﾈﾗﾙﾏﾈｰｼﾞｬｰ
〃	村瀬　有一	㈱富士通研究所　ﾍﾟﾘﾌｪﾗﾙｼｽﾃﾑ研究所自律ｼｽﾃﾑ研究部主任研究員
〃	嶋地　直広	北陽電機㈱　経営企画室課長
〃	三谷　宏一	松下電工㈱　生産技術研究所ﾋｭｰﾏﾝﾛﾎﾞｯﾄ技術開発ｸﾞﾙｰﾌﾟ主査技師
〃	大西　　献	三菱重工業㈱　新製品宇宙部ロボット事業グループ主席技師
〃	村井　真二	㈱安川電機　ﾛﾎﾞﾃｨｸｽｵｰﾄﾒｰｼｮﾝ事業部ﾛﾎﾞｯﾄ工場 開発部開発第２課課長
〃	加瀬　隆明	三菱電機㈱　情報技術総合研究所表示システム技術部主任研究員
〃	井野　重秋	㈱テムザック　研究所課長
〃	太田　康裕	トヨタ自動車㈱　ﾊﾟｰﾄﾅｰﾛﾎﾞｯﾄ開発部第３開発ｸﾞﾙｰﾌﾟ担当員
〃	山下　智輝	㈱前川製作所　技術研究所基盤技術開発グループ次長補
〃	大西　正紀	アシスト シンコー㈱　ｴﾝｼﾞﾆｱﾘﾝｸﾞ本部ｼｽﾃﾑｼｽﾃﾑｲﾝﾃｸﾞﾚｰｼｮﾝ部 担当部長

目　　次

・序
・はじめに
・人間共存・協調ロボット安全性標準化調査専門委員会名簿

１．調査研究の概要 …… 1
1.1　調査研究の目的 …… 1
1.2　調査研究の概要 …… 1
1.3　調査研究の体制 …… 1

２．人間共存・協調ロボットの安全性標準化に関する検討 …… 3
2.1　概要 …… 3
2.2　ワーキンググループでの審議経過 …… 3
2.3　人間共存・協調ロボットの安全性の考え方 …… 4
2.4　人間共存・協調ロボットの安全性ガイドライン案 …… 12
2.5　まとめ …… 19

３．ＩＳＯにおける標準化動向 …… 20
3.1　ISO/TC184/SC2 の活動状況 …… 20
3.2　国際規格回答状況 …… 21
3.3　ＩＳＯの国際会議報告 …… 22
3.4　ロボットの安全性に関する国際調査報告 …… 42

４．まとめ …… 52

付属資料 …… 53

安全性検討ワーキンググループ

	氏　名	機関名・所属・役職
主　査	高橋　浩爾	上智大学　名誉教授
委　員	杉本　　旭	北九州市立大学　国際環境工学部環境機械システム工学科教授
〃	安藤　嘉則	群馬大学 工学部機械システム工学科助教授
〃	吉田　　誠	経済産業省　産業技術環境局情報電気標準化推進室情報二係長
〃	山田　陽滋	独立行政法人産業技術総合研究所　知能システム研究部門 安全知能研究グループグループ長
〃	池田　博康	独立行政法人産業安全研究所　機械ｼｽﾃﾑ安全研究ｸﾞﾙｰﾌﾟ主任研究官
〃	土肥　正男	ＩＤＥＣ㈱　商品開発ｾﾝﾀｰ開発ﾌﾟﾛｼﾞｪｸﾄFSｸﾞﾙｰﾌﾟｱｼｽﾀﾝﾄﾘｰﾀﾞｰ
〃	十川　修一	川崎重工業㈱　汎用機ｶﾝﾊﾟﾆｰﾛﾎﾞｯﾄﾋﾞｼﾞﾈｽｾﾝﾀｰ企画管理部参与
〃	岡部　真司	㈱ダイヘン　溶接メカトロカンパニーメカトロ事業部技術部主事
〃	橋本　秀一	㈱デンソーウェーブ　ＦＡ事業部技術部技術企画室室長
〃	伊藤　孝幸	ファナック㈱　ロボット技術研究所所長
〃	覚田　善徳	㈱不二越　ロボット製造所開発部要素開発リーダー
〃	荻野　英司	富士重工業㈱　第１生産技術部第２ボディ技術課課長
〃	北村　篤史	三菱電機㈱　名古屋製作所ﾄﾞﾗｲﾌﾞｼｽﾃﾑ部ﾛﾎﾞｯﾄ開発課専任
〃	永田　　学	㈱神戸製鋼所　溶接カンパニー溶接システム部次長
〃	松尾　健治	㈱安川電機　ﾛﾎﾞﾃｨｸｽｵｰﾄﾒｰｼｮﾝ事業部制御技術部部長
〃	安藤　晃二	KUKA Robter GmbH　東京代表
〃	中村　尚範	トヨタ自動車㈱　BR 生技室部長
〃	下原　史靖	㈱デンソー　工機部第２技術室担当部員
〃	川島　　興	オリエンタルモーター㈱　ﾘﾆｱｼｽﾃﾑｶﾑﾊﾟﾆｰ技術部技術課ﾘｰﾀﾞｰ
〃	黒澤　豊樹	黒澤Ｒ＆Ｄ技術事務所　所長
〃	大西　正紀	アシスト シンコー㈱　ｴﾝｼﾞﾆｱﾘﾝｸﾞ本部ｼｽﾃﾑｼｽﾃﾑｲﾝﾃｸﾞﾚｰｼｮﾝ部 担当部長
ｵﾌﾞｻﾞｰﾊﾞｰ	長妻　輝夫	オリエンタルモーター㈱　生産・技術本部技術標準部部長

１．調査研究の概要

1.1　調査研究の目的

近年、産業用分野のみならず、非産業分野においても、公共の場や家庭内などで使用されるロボットの実用化が進んでおり、人間と共存・協調環境で使用されるロボットというものが現実のものとなってきた。今後は、このようなロボットが急速に普及することが予想される。

しかしながら、現在のところ、このようなロボットに関する安全対策や規格などは整備されておらず、ISO や JIS、労働安全衛生規則等では適用範囲外としている。

このような人間と共存する移動ロボットの安全対策は、非定常時のみに人が接近する従来の固定式の産業用ロボットとは明らかに異なり、現行の産業用ロボットに関する安全規格類をそのまま適用しようとしても無理があるなど、これまでの安全対策では、当然不十分であり、人間と共存するロボットの安全基準策定は急務である。

本調査研究では、すでに実用化されている人間共存・協調ロボットの安全性確保及び今後のこれらのロボットの普及促進のために、人間と共存するロボットの安全基準の策定を目的とし、その成果については、積極的に国際標準提案を行うこととする。

1.2　調査研究の概要

本年度は以下の調査検討に基づき、人間共存・協調ロボットの安全基準の策定に関する検討を行った。

（１）人間共存・協調ロボットの安全基準案（基本規格）の策定

・人間共存・協調ロボットの安全基準について、適用範囲、安全基準項目及びそれらの内容について検討を行い、人間共存・協調ロボットの安全基準案の策定を行った。

（２）人間共存・協調ロボットの安全基準の国際提案に関する検討

・人間共存・協調ロボットの安全基準の国際提案に向けて、人間共存・協調ロボットの安全基準と密接に関係する ISO 10218（産業用ロボットの安全性）の改訂作業について調査検討を行った。

1.3　調査研究の体制

ロボットメーカ、ユーザ及び学識経験者によって構成される人間共存・協調ロボット安全性標準化調査専門委員会を当工業会内に設置し、本委員会と２つのワーキンググループ（移動ロボット安全性検討ワーキンググループ及び安全性検討ワーキンググループ）によって調査研究を行った。

本委員会は、調査研究の方針を決定し、事業の進展を統括すると共に、各ワーキンググループの作業内容の審議、承認を行った。

移動ロボット安全性検討ワーキンググループは、人間共存・協調ロボットの安全基準策定に向けて、人間共存・協調ロボットの人間共存・協調ロボットの安全基準案の策定等を行った。

安全性検討ワーキンググループは、人間共存・協調ロボットの安全性検討に密接に関連する ISO 10218（産業用マニピュレーティングロボットー安全性）の改訂作業に関して、日本提案及び ISO から回付される国際投票に対する日本回答の作成、各国提案の検討及び関係主要国の現状等の調査を行った。

２．人間共存・協調ロボットの安全性標準化に関する検討

2.1　概要

近年、産業用分野のみならず、非産業分野においても、公共の場や家庭内などで使用される移動ロボットの実用化が進んでおり、人間と共存する移動ロボットというものが現実のものとなってきており、今後、このようなロボットが急速に普及することが予想される。

しかしながら、現在のところ、このような人間共存・協調ロボットに関する安全対策や規格などは整備されておらず、ISO や JIS、労働安全衛生規則等ではこのようなロボットについては適用範囲外としている。

このようなロボットの安全対策は、非定常時のみに人が接近する従来の固定式の産業用ロボットとは明らかに異なり、現行の産業用ロボットに関する安全規格類をそのまま適用しようとしても無理があるなど、これまでの安全対策では、当然不十分である。

このような状況において、すでに実用化されている人間共存・協調ロボットの安全性確保及び今後の普及促進のために、人間共存・協調ロボットの安全基準の策定は急務であるといえる。

そこで、本調査研究では、これまでになされてきた機械に関する安全規格及び産業用ロボットの安全規格の人間共存・協調ロボットのへ適用についての検討に基づき、安全基準案の策定に向けた検討を開始した。

３カ年計画の最終年度である今年度は、人間共存・協調ロボットの安全基準策定のために、次のような検討を実施した。それらの詳細については、2.3 以降に具体的に述べることとする。

- 対象とするロボットの範囲を「宇宙・水中など特殊な環境を除き、人と動作空間を共有する範囲で用いられるものとする（ただし、体内などの非現実的なものは除く）。」とした。
- 規定内容については、安全性の概念、基本用件、共通の考え方、共通の技術などについてまとめることとし、安全性確保と安全設計の概念、安全性要求事項、使用上の情報の提供などの規定項目をまとめた。
- リスクアセスメントにおける人間共存・協調ロボット特有の指標、安全防護に関する具体的手段・要件等、使用上の情報提供の内容について検討を行ったが、規定項目の内容の全てについては今後も更に検討が必要である。

2.2　ワーキンググループでの審議経過

今年度は、移動ロボット安全性検討ワーキンググループにおいて５回の審議を行った。

第１回目は、今年度の進め方の検討及び人間共存・協調ロボットの安全基準で対象とするロボットの範囲について審議を行った。

第２回目は、人間共存・協調ロボットの安全基準で対象とするロボットの範囲及び規定

項目について検討を行った。

第３回目は、人間共存・協調ロボットの安全基準で対象とするロボットの範囲を決めると共に、規定項目の定義の内容等について検討を行った。

第４回目は、人間共存・協調ロボットの安全基準の規定項目（安全性確保と安全設計の概念、安全性要求事項）について検討を行った。

第５回目は、人間共存・協調ロボットの安全基準の規定項目（使用上の情報提供）及び安全性確保と安全設計の概念、安全性要求事項の規定内容について検討を行った。また、報告書の内容についても検討を行った。

2.3　人間共存・協調ロボットの安全性の考え方

固定式の産業用ロボットが人間と近接するのは，教示等の特別な場合であり，このような作業の際は事故防止のために多くの対策や安全要求事項が規定されている。しかし，移動や時には人間との接触を特徴とするサービスロボットにこれらを厳格に適用しようとすれば，移動や接触機能自体を阻害することになりかねない。このような人間との共存・協調を指向するロボットは，従来の産業用ロボットとは異なり，ロボットを人間から隔離することは不可能である。そのため，例えば人間との安全な接触が求められるが，それが安全要件として定めている基準や規格はなく、現実には適用事例は極めて限定されている。

現在の機械の国際基本安全規格類の考え方を踏襲すると，対象機械に個別対応する安全規格がなくとも，リスクアセスメントに基づくリスク低減プロセス（安全設計手順）が適用されねばならない。機械設計の一般原則規格 ISO 12100-1（JIS B 9700-1）によれば，設計者がリスク低減プロセスを行ってもなお残るリスクを使用者へ通知することでプロセスは終了する。ただし，本来は，使用者にとって受容可能なリスクレベル以下になるまで state-of-the-art(その時代の最高技術)の安全方策を適用しなければならない。つまり，そこまで周到な準備を実施した上で,結果として起こる事故は受容するという前提があり，決して事故の責任を曖昧にしようとするのではなく，安全の責任を果たすための共通の方法を社会的に認めるという考えがある。

サービスロボットが自由に移動できる場合には，人間とロボットが接近・接触する状況は必ず考慮しなければならない。どんなに対策を講じても，柵の中の産業用ロボットと同等の安全保証は不可能であり，これらのロボットを動作させる以上，残存するリスクに対して，サービスを享受するロボット利用者が受容できるか改めて検討が必要である。その上で，合理的な安全設計の手順を実施しなければならない。

そこで，リスクに基づく国際安全規格の原則を踏襲して，従来の産業用ロボットに対する規格類をサービスロボットに拡張した安全要件を提案する。

2.3.1　安全要件の骨子

サービスロボットのための安全関連要求事項は，あくまでもロボットの設計者，製造者（改造等を含む），及び安全防護装置の設計者，製造者（インテグレータ）を対象とする。ただし、グルーバルな安全の考え方に従って、社会的な残留リスクの受容を設計・製造者側が獲得するためには、事後の責任を果たすことが求められる。これは、state-of-the-artの安全方策を適用しても（事前安全責任）防げない事故、設計によって回避できない危険源に起因する事故に対して、保険等の補償を求めることであるが、本安全要件ではそこまで言及しない。

サービスロボットの設計段階において重要な点は以下の通りである。

(1) 安全設計は，包括的なリスクアセスメント，安全防護方法の選択，リスク低減効果の確認を行うことによって完成する。

(2) リスク低減方法の実施にはその内容によって優先順位があり，本質安全化による危険源（あるいはリスク）低減，安全防護装置・付加的防護手段によるリスク低減、使用上の情報提供という3段階（3ステップメソッド）でリスク低減を実施する。

(3) リスクの見積もりの際，基本的なリスク要素に加えて，見積もられる危険度レベルに対する重み付けの要素を考慮する。これにより，必要とされる安全防護手段の安全性能の緩和が可能となる。

(4) 安全防護手段の安全性能は分類され，査定された危険度レベルに対応した性能カテゴリーから選択される。特に，制御システムの安全関連部の安全性能については，耐故障特性によって規定される。

(5) 安全防護機能については，接触安全及び衝突安全確保についても考慮され，これらの機能の性能によって適用順位が規定される。

2.3.2　サービスロボットのためのリスクアセスメント

サービスロボットの安全設計はリスクアセスメントから始まる。一般の機械設備と同様に、リスクアセスメントの実施手順は，

a.　使用環境（条件）の整備，

b.　危険源の同定，

c.　リスクの見積もり，

d.　リスクの評価，

と規定されており，本来，独立したリスクアセッサによって実行されるものである。特に，対象機械とその仕事に対する危険源を抽出，同定する作業の確度と緻密さが，以降の危険度レベル，安全防護手段の選定に影響するため，危険源の同定は安全設計の要とも言える極めて重要な作業である。リスク分析については，様々な手法が提案されているが，基本的には人間が危険源から被る（と予測される）危害の酷さとその危害の発生確率の組み合

わせによってリスクの大きさは表現される。そして，危害の発生確率は，人間が危険源に

表 2.3.1　リスク要素とランクの基準例

リスク要素	ﾗﾝｸ	ランクの内容例
傷害の程度	C1	軽傷（打撲など）
	C2	重傷（後遺症が残る，死亡）
危険源に暴露される頻度	F1	ほとんどない（1回/日未満）
	F2	頻繁ー常時（1回/時間以上）
危険事象の回避可能性	P1	可能（安全運転速度未満）
	P2	不可能（安全運転速度以上）

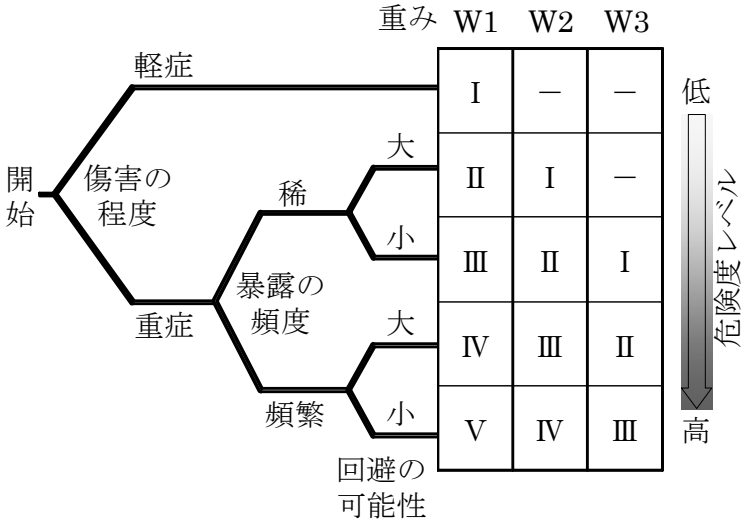


図 2.3.1 重み付け要素を付加したリスクグラフと危険度レベルの決定

暴露される頻度（あるいは時間），危険事象の発生確率，人間が危険事象から回避できる可能性の3つの要素の関数となる。

表2.3.1は，リスクの見積もりのために，3つのリスク要素について簡単に2つのランク付けをした例であり，各々のランクの組み合わせによって危険事象の発生確率に依存しないリスクの大きさが推定できる。ただし，想定される傷害が軽傷（C1）の場合は，他の2つの要素のランクにかかわらずリスクは低いものとしている。また，危険事象の発生確率は，後述する安全防護手段の選定結果に関連して考慮される。

リスクの評価は，例えば**図2.3.1**に示すようなリスクグラフの形で記述して，5通りの査定結果として危険度レベルⅠ（低リスク）ーⅤ（高リスク）が得られる。なお，W1ーW3は前述の重み付け要素であり，例えば，利用者が対象ロボットに関与する度合い，利用者が

ロボット機能を熟知している度合いによって，あるいは，救護ロボットのようにリスクを負っても対象ロボットを使用する必要がある場合は，危険度レベルを緩和する側（すなわち W2，W3）に設定することができる。

サービスロボットについては，標準のリスク査定（W1）によって動作自体が高リスクとされ，ロボット本来の機能を喪失することになる場合に，危険度レベルの緩和が考慮されるものとする。緩和の根拠は，手術ロボットのように，患者がリスクがあってもロボットによる効果を求めるため契約（インフォームド・コンセント）できる場合を除いて，社会的に対象ロボットのリスクベネフィットが認識されることが求められる。このような判断は，最終的にはリスクアセッサに委ねられる。しかし，リスクベネフィットが予測される使用環境（使用者を含む）で確立されないと判断される場合は，使用環境の限定（例えば，使用場所の限定，免許制による使用者の限定）などを考慮する必要がある。

2.3.3　リスクアセスメントに基づくリスク低減

リスク評価の結果，危険度レベルが決定すると，それに対応する安全性能を持つ安全防護手段が選定されねばならない。安全性能カテゴリーは，高カテゴリー（高安全性能）であるほど故障に対する安全機能確保の確実性が要求される。すなわち，対象ロボットに装備される安全防護手段の安全性能が高いほど，危険状態から危険事象への遷移を阻止することが可能となり，結果として危険事象の発生確率は低下することになる。なお，危険度レベルと安全性能カテゴリーとの対応は，最高危険度レベル以外は安全防護装置の技術的内容によって選択の幅を持たせている。

表2.3.2は，様々な安全防護手段を安全性能カテゴリーにより分類したものである。こ

表 2.3.2　安全性能に対応するリスク低減手段の選定

<table>
<tr><th>危険度レベル</th><th>安全性能カテゴリー</th><th colspan="4">安全防護手段
（高　←実施の優先度→　低）</th></tr>
<tr><td>Ⅴ</td><td>4</td><td rowspan="5">本質安全設計</td><td colspan="3" rowspan="2">インタロック装置
トリップ装置
人存在検知設備</td><td rowspan="5">個人防護具</td></tr>
<tr><td>Ⅳ</td><td rowspan="2">3</td></tr>
<tr><td>Ⅲ</td><td rowspan="2">2</td></tr>
<tr><td>Ⅱ</td><td rowspan="2">1</td><td>ガード</td><td>注意喚起手段</td><td>手順書訓練</td></tr>
<tr><td>Ⅰ</td></tr>
</table>

の安全性能カテゴリーは ISO 13849-1（JIS B 9705-1）で規定されるものであり，カテゴリー1は信頼性向上，カテゴリー2以上は制御構造により，定期的な診断，多重化，常時監視の順に高リスク対応の高安全性能を有する。ここでは，ガード等の機械的手段は，本質的に危険源を除去できる場合を除き，単独では安全性能は低く見積もられ，電気・電子あるいは油空圧の装置と組み合わされて高安全性能を発揮できるとしている。同様に，注意喚起手段，手順書や訓練も単独では安全性能の低い補助的手段であり，個人防護具は安全性能に関係しない。本質安全設計も安全性能に関与しないが，リスク自体が生じないことを目的としているため，優先的に採られる手段である。

現在，産業用ロボットで使用されている安全防護手段の代表例について，安全性能を分類すると**表2.3.3**に示すようになる。安全機能が高度になるほど高リスクレベル対応となっていることが分かるが，市販のセンサ類でカテゴリー対応を謳っている製品は多くはないのが現状である。サービスロボットに適用可能なセンサ類となるとかなり限定されてしまうため，低カテゴリー製品の組み合わせや後述する階層防護を取り入れて，システムと

表 2.3.3　主要安全防護手段の適用リスクレベル

手　段		安 全 機 能	適用リスクレベル Ⅰ　Ⅱ　Ⅲ　Ⅳ　Ⅴ
インタロック	ポジションスイッチ	二重化接点回路	
	ドアスイッチ（スライド式、ヒンジ式）	同上、加えて、強制開離機構、ポジティブな機械結合	
	電磁ロック付ドアスイッチ	同上、加えて、バネ施錠/動力解錠	
	近接スイッチ	二重化接点回路、異種冗長化/コード化	
ﾄﾘｯﾌﾟ装置	ライトカーテン・光ビームセンサ	二重化接点回路、周期的な自己診断（タイプ2） 独立二重化/相互常時監視（タイプ4）	
	レーザエリアセンサ	二重化接点回路、スキャン毎自己診断（タイプ3）	
	マットスイッチ	4線式+断線検知付き制御器	
制御回路	保護インタロック回路	二重化接点回路、自己保持回路 同上、加えて、接点溶着検知 同上、加えて、遅延回路	
	停止回路（ハードワイヤ）	制御上の停止（停止カテゴリ2） 制御停止後に駆動源遮断（停止カテゴリ1） 制御されない駆動源遮断（停止カテゴリ0）	
補足	非常停止装置	二重化接点回路、強制開離機構、停止保持	

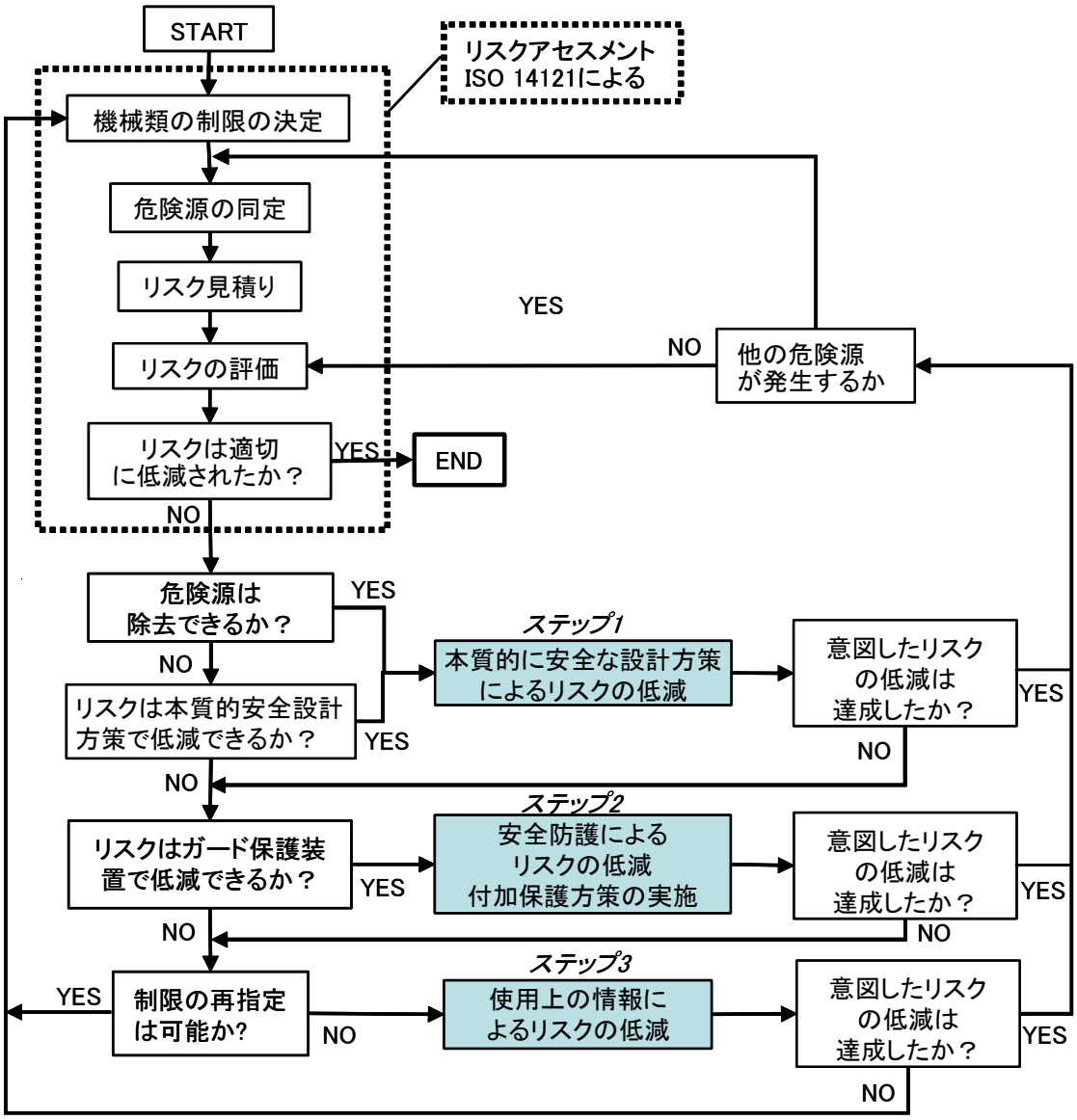


図 2.3.2 リスクアセスメントに基づく 3 ステップメソッドの手順

しての安全防護を検討する必要がある。また，センサメーカの安全制御への対応を更に促進することが望まれる。

なお，これらの安全防護手段の実施の優先順は，同表に示すように本質安全設計から始まり，次いでインタロック等の安全防護が施されねばならない。このことは，**図2.3.2**に示すように，機械安全基本規格で3ステップメソッドと呼ばれる基本ルールである。

さて，実際の重み付けされたリスクグラフを用いるリスク低減の手順は，次の順序で行われる。

1) W1の危険度レベル判定に対応する安全性能カテゴリーを選定する。（通常選定）
2) 通常選定が不可能な場合，低安全性能カテゴリーの組み合わせを適用して，再度危険度レベルを検討する。
3) 低安全性能カテゴリーの組み合わせ適用が不可能な場合，W2，W3による危険度レベルの緩和を行う。

この操作によって,サービスロボットがあくまでもリスクを認めるシステムである限り，人間依存の安全方策や最高の安全性能ではない安全方策も積極的に活用することができる。移動ロボット導入により大きな危険性が改善される反面，それにより生じる小さな危険性は許容しようということである。

なお，リスクアセスメントは許容レベルまでリスクが低減されて終了する。前述の通り，手術用ロボット使用者と受益者が特定されるような場合を除いて，リスクを受容する不特定多数の使用者に代わって，どの危険度レベルが受容レベルかを示すことは難しい。現実的には，ロボットの設計者・製造者が上述のリスクアセスメントに基づくリスク低減を可能な限り実施し，製造者による安全確保の限界を宣言して，残留リスクに関する情報を使用者へ漏れなく提供することによって，使用者側でできるリスク低減活動に寄与することが最善と考えられる。

2.3.4　リスク低減手段の防護階層

リスクアセスメントの実施において，留意しなければならないことは，最悪の条件でリスクを見積もることである。安全防護手段に要求される安全性能がこの段階での評価に依存するため，より厳しい側に査定することが求められる。また，個々の危険源毎に安全防護手段を検討しなければならない。

しかし，安全防護手段がリスクを低減する効果は，対象とする危険事象の発生確率のみに関係するのではなく，他のリスク要素のランクを低減することも多い。例えば，サービスロボット移動機構部と使用者との追突については，追突以前に早期回避すれば暴露頻度は減って危険状態は生成せず，低速度になっていれば怪我をしても軽傷で済み，利用者は回避し易くなって危険事象に至ることは減る。すなわち，安全防護手段によるリスク低減は,危険源が危険事象に拡大してゆくプロセスの各段階で効果を上げることが可能であり，複数の安全防護手段を階層的に機能させることが有効である。

このような複数の方策を適切に組み合わせて利用する方法についてはロボット関連分野では十分検討されていない。そこで，化学プロセス分野で提唱されている独立防護階層（Independent Protection Layers，以下 IPL）の概念を導入して，ロボット防護手段の階層化を図ることとした。IPL による設計思想は，対象危険源が危険事象として発現して拡大する時間順にリスク低減方策を階層配置し,より早期の防護層から独立して機能させて，システム全体としてリスク低減を図るものである。また，各階層の効果を独立に評価でき

るため，総合的システムの評価が容易となる。

IPL で定義される階層は，以下のものである。

- 第1層：本質安全設計（危険源除去）
- 第2層：基本プロセス制御（通常運転の維持）
- 第3層：運転員の介入/重要警報（人間の修正）
- 第4層：インタロック（自動緊急停止）
- 第5層：物理的防護手段（リリーフ弁）
- 第6層：物理的防護手段（防液提）
- 第7層：プラント内緊急対応計画（事業所内）
- 第8層：地域防災計画（地域住民，公共施設）

一般に，機械設備においては，インタロックが重要で最終防護階層として機能しなければならないが，プラント設備においては，インタロックが失敗もしくは不可能な場合でもその後の防護層がカバーすることとしている。また，プラント機能停止による損失に対して，人間のリスク低減効果を積極的に評価していることも特徴である。このような IPL の考え方は，経済的損失を考慮するかの議論は別として，人間共存環境下で動作しなければならないようなサービスロボットに広く適用可能と思われる。

例えば、特に危険度レベルの高い移動機構部が人間に衝突する場合とマニピュレータにより人間が挟まれる場合を例として，適用可能なリスク低減手段を前節の IPL の定義に従

表 2.3.4　サービスロボットの衝突と挟圧の危険源に対する防護階層例

階層	衝突の危険源に対する防護	挟圧の危険源に対する防護
1	軽量化 速度の制限	小型のアクチュエータ利用 挟圧部除去
2	回避性能の向上 早期障害物認識 最適経路計画	力監視と制御 人間の動作や意思の認識
3	警告（音，光，音声） 人間の回避行動の支援 手順・管理の整備	イネーブルスイッチ 人間の回避行動の支援 手順・管理の整備
4	近接センサ，接触センサ＋駆動源遮断停止	力センサ，モータ電流検出，制御偏差の診断＋駆動源遮断停止
5	摩擦ブレーキ 車輪のスリップ	トルクリミッタ
6	バンパ 防護具	防護具
7	安全教育／運動， 負傷者の救命活動	安全教育／運動， 負傷者の救命活動

って分類する。**表2.3.4**にその結果を示すが，ここでは第8層はサービスロボットでは考慮する必要がないため含んでいない。また，第3層まではロボットの動作を維持する機能であるが，プラント設備のオペレータとは異なり，サービスロボットに関わる人間が直接危険源と対峙する状況となる場合は，その当事者による介入操作によるリスク低減効果は期待すべきではない。したがって，ロボットの動作を放棄しても安全な状態へ移行する機能の第４層以降が重要となる。なお，第5層は蓄積された運動エネルギーを外部へ放出あるいは消散する機能であり，第6層は人体への伝達エネルギーを吸収あるいは遅延させる機能である。第7層は通常の機械システムを対象とする場合，直接リスク低減には寄与しない。

また，特に第2，4層は安全制御手段となるので，各々の層における手段は前述の安全性能カテゴリーで規定されてリスク低減効果が算定される。同層中に複数の手段が機能する場合は，仮に各々の手段の安全性能カテゴリーが低くても，組み合わせによってより高いカテゴリーに対応可能と見なせる可能性がある。

以上の検討を基に，サービスロボットの安全性ガイドラインを提案する。これは，機械安全規格体系における B 規格（グループ規格）としての位置付けを想定しており，サービスロボットに共通する安全確保の考え方と手順，安全技術を網羅することを目標としたが，幅広いサービスロボットを対象としたため，具体的な安全要件に関しては検討途上である。関連規格の動向を見ながら，今後議論を深めてゆくためのたたき台として述べるものである。

2.4　人間共存・協調ロボットの安全性ガイドライン案

１．総則

適用範囲（適用除外）：清掃，警備，福祉，生活支援，アミューズメント等の多様な用途のため，産業環境または非産業環境におけるサービス事業や公共，家庭等の場で，人間と共存しつつサービスを提供するロボット（以下，サービスロボット）の設計，製造に対して適用し，サービスロボットに係わる人間の安全確保のための指針とする。サービスロボットの改造，導入，運用，保守・修理については，製造者が責任を持つ範囲についてのみ言及する。

人間が存在する空間を動作空間として持つサービスロボットを対象とし，空中（宇宙），海底，人体内を動作空間とするものは適用しない。なお、サービスとは、人間への物理的関与以外にも情報の提供を含む。

２．引用規格

産業用ロボット安全規格（ISO/FDIS 10218-1）

知能ロボット，移動ロボット及びサービスロボットの用語規格（JIS B 0185，0186，0187）

機械（電気）安全規格類（JIS B 9700-1，2，9702，9705-1，9960-1）

３．用語の定義（安全関連のみ，引用規格にあるものは除く）

- リスクベネフィット：被るリスクに対して受ける利益，またはその逆。受益者が受益の程度に応じて受容リスクレベルを緩和するときの指標として利用する。
- クリティカルリスク：設計段階でどうしても回避できないリスク。このリスク低減の主体はロボット使用者側となる。
- ALARP 原則：合理的に実行可能な最低レベル。リスクを技術水準や環境，あるいはコスト等を考慮した上で実行可能な最低レベルまで下げること。
- 階層化防護:安全防護をリスクアセスメントの結果に基づいて最適で効果的に配置すること。多層の防護が危険事象の発現を段階的に抑制するように，安全制御システムを構築する。
- 接触安全：人体との静的接触におけるリスクが十分低いこと。ロボット可動部の動作状態に依存せず，接触点にかかる力（トルク），あるいは変位で判断される。
- 衝突安全：人体との動的衝突におけるリスクが十分低いこと。衝突点にかかるエネルギー（運動量）等で判断される。

４．安全性確保と安全設計の概念

(1)一般

ロボット設計・製造者は，リスク低減プロセスに基づきリスクアセスメントを実施して，その上で本質的安全設計，安全防護および付加保護方策，並びに残留リスクについて使用上の情報提供の 3 ステップメソッドによる危険源除去またはリスク低減方策を反復的に実施しなければならない（JIS B 9700-1 参照）。

(2)リスクアセスメントの実施

リスクアセスメントは，リスク分析，リスクの見積もり，リスクの評価を系統的に行うプロセスである（JIS B 9702 参照）。リスク分析においては，想定動作に対して全ての危険源を同定しなければならない。危険源の同定のため，留意すべきチェック項目を附属書に示す。

なお，危険源の同定においては，使用環境の想定（使用場所，利用者，要員（オペレータ，保守員），ライフサイクル），合理的に予見可能な誤使用，保護機器を含む制御の不具合、人間工学原則の無視などを考慮しなければならない。

次に，想定タスクと危険源の組み合わせに対して，リスクを見積もるためのリスク要素を定めて各々のリスク要素の算定と総合的なリスク評価を行う。なお，リスクの見積もりの際は最悪基準を用いることで基本であり，また、暴露頻度は暴露時間も考慮し、回避可能性は危険事象の発生速度や要員かそれ以外の人かを考慮すべきである。

(3)リスク低減方法の決定

対象危険源のリスク要素の査定により対象タスクにおける危険度レベルを定め，対応するリスク低減カテゴリー（JIS B 9705-1 による安全性能カテゴリー１ー４）と安全防護手段を選定する。選定の優先順位は，3 ステップメソッドに従って，本質的安全設計，安全防護及び付加保護方策，使用上の情報の順とし，さらに残留リスクへの対応を実施する。

a)本質的安全設計

想定危険源の低減または抑制のための必要十分な設計基準値を定め，これを満足するように本質的安全設計を実施した後，改めて危険源のリスク評価を実施しなければならない。機械的危険源に対して，主に適用可能な本質的安全設計のための構造および機能は以下の例がある。

- 機構部の軽量化
- 移動速度の制限
- 駆動力の制限
- クリアランスの確保
- 動力機構の遮断および伝達部の分離
- 柔軟構造または材質

b)安全防護および付加保護

本質的安全設計を実施しても十分な危険源の抑制ができず，リスクが残る場合，次の順序でリスクを除去または低減しなければならない。

- 保護機器（安全防護）
- 補足手段（付加保護方策）
- 安全防護物（付加保護方策）
- 警告表示（付加保護方策）

c)使用上の情報提供

安全防護および付加保護を実施し，再びリスク評価を行い，最後に残るリスクを使用に関する情報として作成しなければならない。特に，クリティカルリスクについては，使用者による運用（使用条件の限定を含む）のために十分な情報を提供する必要がある。

(4)リスク評価の緩和

適切なリスク低減が実施されたかを判断するためのリスク評価は，リスクアセッサの責任の下実施されるが，対象ロボットがリスクをトレードオフする要因を有する場合，見積もられた危険度レベルを緩和するための追加要素を，必要な場合にリスクアセッサが追加設定できる。次のようなトレードオフ要因が想定されるが，それらには限定されない。

- リスクベネフィット（ロボットによる受益者との契約を含む）
- ロボットオペレータに関する重み付け（人数，作業に関与する度合い，認知度等）
- ALARP 原則

・　利便性向上に関する社会的ルール・コンセンサス

ただし，リスクアセッサは作業環境や条件等によってこれらの手法の適用を検討し，その理由を提示する必要がある。

基本的なリスク低減カテゴリーの緩和決定は，次の優先順位に従って行われる。

a)追加要素なしで危険度レベル判定に対応する安全性能カテゴリーを選定する。（通常選定）

b)通常選定が不可能な場合，低安全性能カテゴリーの組み合わせを適用して，再度危険度レベルを検討する（階層化防護を含む）。

c)低安全性能カテゴリーの組み合わせ適用が不可能な場合，追加要素に基づく危険度レベルの緩和を行う。

５．安全要求事項

5.1 本質的安全設計

重要な危険源の低減または抑制のための必要十分な設計基準（目標）を策定して，設計段階でそれらを可能な限り満足させるロボットの構造，機能を変更する。ただし，サービスロボット本来の機能を喪失しない。本質的安全設計で検討すべき項目は以下の例がある。

(1) 材質：人体接触可能性のある部位の堅さ，温度，化学的性質

(2) 形状：人体接触可能性のある部位の鋭利さ，表面加工，間隙（挟まれ部）

(3) 速度：人体部位へのアプローチ速度（回避可能性，視認性），衝突速度・加速度限界

(4) パワー（力）：人体部位への加圧力限界，衝撃ピーク力・静的持続力，質量

(5) 電磁環境：人体への電磁波暴露限界

(6) その他：緩衝性など

5.2 安全防護物の設計・配置

危険源によるリスクを低減するため，安全防護物の設計・選定と据付のための要件が規定される。

(1) 主な安全防護物

主な安全防護物機能は，隔離，近接検出，接触検出，協調動作監視などがある。各々の機能の例とそれらの安全性能については，ほぼ基本安全規格体系の B 規格類を参照可能である。

・　ガード・バリア：動作空間の固定が可能となる。強度，クリアランス(安全距離)等が規定される。

・　非接触式存在検知機器：ロボットに接近する人体部位を接触前に検出する。ロボットの

回避動作や速度制御，停止インタロック等に利用するため，光線(反射，透過)式，レーダー式，静電容量式，焦電式，カメラ，GPS などが利用される。リスクに応じた安全性能の選定が規定される。

- 接触式存在検知機器：ロボットに人体部位が接触したことを検出する。ロボットの回避動作や速度・力制御，停止インタロック等に利用するため，バンパ式，エッジ式，マット式，トルク・力覚センサ，モータ電流検知などが利用される。リスクに応じた安全性能の選定が規定される。
- 動作監視・正常性監視手段：ロボットの正常動作を監視するために，内界センサ（力覚センサ，電流センサ等），外界センサ（カメラ，レーダー等），自己診断機能（ウォッチドッグ等）が利用される。リスクに応じた安全性能の選定が規定される。

(2)安全性能カテゴリー

安全防護物（保護機器）が安全関連部の安全制御に関わる場合，危険度レベルの判定結果により JIS B 9705-1 に基づく安全性能カテゴリー（B，1～4）が規定される。

(3)複数保護機器による安全性能の補完

単一保護機器によるリスク低減が十分でない場合，複数の保護機器の組み合わせによる対象危険源の多重監視，あるいは対象危険源の領域を拡張して外側に対して追加保護機器による階層監視を行うことができる。後者は，階層化防護により危険源の危険事象への発展を段階的に抑制することができる。なお，いずれの方法も異種多重化により共通要因故障の影響を抑制可能である。

5.3 補足手段の設計・配置

安全防護物と組み合わせてリスク低減効果を得るため，補足的防護手段の設計・選定と据付のための要件が規定される。機能については，

- 制限装置：軸制限装置やトルクリミッタ，あるいは空間動作制御等の動作能力の制限手段が利用される。リスクに応じた安全性能の選定が規定される。接触安全確保のための階層化防護により，機械的力制限装置（トルクリミッタなど），機械的力伝達装置（クラッチなど），機能的力制限装置（接触センサによる力制御）の順に機能する。
- 制動装置：運動エネルギー消散手段としてブレーキが利用される。制動以外にも，位置保持のためにも利用される。衝突安全確保のための階層化防護により，機械的制動手段（機械的なブレーキ），電気的制動手段（回生ブレーキなど），緩衝機能の順に機能する。
- 緊急停止装置：非常停止装置と停止制御の要件が B 規格類で規定される。特に，停止カテゴリー1（JIS B 9960-1 参照）による非常停止手段にはリスクに応じた安全性能の選定が規定される。
- 緩衝機能：運動エネルギー伝達の制限と抑制のためのバンパ，アブソーバ，クッション

等が利用される。

・ 警告・警報：接近・接触等への注意を人間に喚起するためのアラーム，表示手段が利用される。

5.4 その他の要件

サービスロボットの停止に関して，位置保持のための停止状態の場合は，自重による落下等の新たな危険源の発生を考慮しなければならない。一方，人体を挟圧したままの停止状態からは，駆動源なしの動作を可能としなければならない。

６．使用上の情報の提供

リスク低減方策が実施されたサービスロボットに対して，設計・製造者は残留リスクについての情報および運用上の注意に関する情報を使用者へ提供しなければならない。

(1)設置・取扱説明書

・ 操作方法:駆動源供給による非常停止後の回復動作など

・ 警告・注意:事前注意情報

・ 仕様・技術的情報：使用(保管環境)，機能と仕様，安全性能，運転速度，緩衝機能など

・ 保証・品質:規格リスト，関連規格と関連文書

・ 保守:予防的保守スケジュールを含む保守情報

・ システム要求事項：電気的要件，電磁妨害等の特別な環境に関する情報

・ その他：残留リスク（クリティカルリスク）とその対処方法，故障モード解析情報，危険源解析と全ての危険操作に関する説明，要員役割の情報，訓練用素材など

(2)マーキング

表示，銘板には視認しやすく，かつ耐久性のある方法で，製品名称，型式，製造者情報（名称，連絡先），製造年月日など

７．安全妥当性検証と記録

設計・製造者は，安全設計仕様書，リスクアセスメント結果，安全評価体制（リスクアセッサ，認証者）等の文書化と保存に努めなければならない。

8．付属書

参考１：本質的安全設計のための基準値の例（ただし，子供は対象外）

リスク低減のための物理量	参　考　値
挟圧力 （静的）	可動ガード：150N（保護有），75N（保護無） 産業用車両：750N 電車ドア：～600N エレベータドア：150N以下（ANSI） 自動回転ドア：　80N 以下（但し、衝撃緩和後≦ 平均150N（4.5s間））（JIS） 静止力222N（IRDA） IAD（インテリジェントアシストデバイス）： 261N（ANSI）

リスク低減のための物理量	参　考　値
衝撃力 （動的）	可動ガード：10J（保護有），4J（保護無） 自動回転ドア：≦1400N（0.5s間、クリアランス500㎜） ≦700N（0.5s間、クリアランス300㎜） ≦400N（0.5s間、クリアランス200㎜） （JIS） 3.39J（接触前の抑制）（ANSI） 接触時10J、最終減速時0.17J(BS) ≦250N（AS）

リスク低減のための物理量	参　考　値
クリアランス	≦8㎜又は≧25㎜　（指の巻き込み対応）

参考２：リスクアセスメント（危険源同定）のための項目

危険源チェックリスト

1	ロボットに挟まれ、巻き込まれることはないか
2	感電の恐れはないか
3	火傷、火災、爆発に至る熱源や危険物はないか
4	騒音ストレスを生じないか
5	振動が原因で危険な状態が起こらないか
6	人に傷害を与える放射源はないか
7	ロボット素材や扱う材料は危険ではないか
8	オペレータが扱いやすい機械になっているか
9	小ハザードの組合わせが事故につながらないか
10	制御システムの不具合で危険状態を生じないか
11	ロボットが停止できないようなことはないか
12	動力源が故障して危険状態を生じないか
13	電気回路の故障で危険状態を生じないか
14	部品の取り付け間違いで危険状態を生じないか
15	運転中に部品が壊れて危険状態を生じないか
16	ロボットが危険物を放出しないか
17	ロボットが安定性を失わないか
18	人がつまずく、滑る、落下することはないか

2.5　まとめ

本年度は、人間共存・協調ロボットを対象とし、主に、サービスロボットの安全要件の検討を行った。このようなロボットが単に危険だからという理由でその実用化を妨げてはならず、合理的で正当な手続きによるリスク低減を行った後に生じる事故は受容するという前提から、新しい形態のロボットの安全設計を行う必要がある。今回は，従来の安全設計の手順を逸脱せずに拡張したリスクアセスメントと，その結果に基づく階層化安全防護の考え方と提案し，サービスロボットに適用した。

基本的には，ロボットは人間と隔離されている間は自由に振る舞えるが，人間に近づくにつれて，より高い安全性能を有する安全防護手段が機能し始めるという防護階層が形成される。適切なリスクアセスメントの実施により，防護階層の安全性能が規定されるが，安全設計指標を確立するためには，人間工学的観点からの受容リスクの判断等を検討する必要があり，さらにはより本質安全を指向する要素技術の開発が期待される。

また、今回のガイドライン案を有効とするためには、前述したように、事後安全責任の体制や社会的な認証制度等を並行して整備することが重要である。

３．ＩＳＯにおける標準化動向

本調査研究では、人間共存・協調ロボットの安全性検討に密接に関連する ISO 10218（産業用マニピュレーティングロボット－安全性）の改訂作業を行っている ISO/TC184/SC2 に関して、日本提案及び ISO から回付される国際投票に対する日本回答の作成、各国提案の検討をはじめ、ISO/TC184/SC2 国際会議及び関係主要国のロボットの安全に関する現状等の調査を行った。

3.1　ISO/TC184/SC2 の活動状況

3.1.1　活動状況概要

第１回 SC2 フランクフルト会議が 1984 年 5 月 22 日に開催されて以来、これまで ISO 10 件、TR4 件が発行された。

当初は５つの WG で、最大６つの WG で作業してきたが、作成中の規格がほぼ発行されたことから、2000 年 5 月 11～12 日に開催された第 12 回 SC2 アナーバ会議において、全ての WG が解散されることとなり、以降の改正及び新規作成作業は、PT(Project Team)で進められることとなった。

2003 年 3 月に開催された第 14 回 SC2 ミシソーガ会議では､SC2 のタイトルを“Robots for Industrial Environment”に変更する決議がなされ、TC184 に報告し承認された。

現在 SC2 における改正及び新規作成作業は、ISO 10218:1992（ロボットの安全性）の改正作業のみが行われている。

ISO 10218（ロボットの安全性）の改正は、各国が大きな関心を持っているテーマであり、本提案は、米国よりなされたもので、新規作業項目投票（2002 年 1 月 15 日期限）により、1999 年 6 月に発行された米国の安全規格（ANSI/RIA 15.06）をベースとして改正作業を行うことになった。

改正作業は PT(Project Team)で行われており、これまでに PT 会議は 12 回開催された。

改正作業当初は、ISO 10218 は第 1 部「設計、建設、据付」と第 2 部「改造、再配置、使用」の 2 つのパートに分けて検討を行っていたが、2003 年 10 月に開催された第 5 回 PT 会議において、第 2 部の適用範囲が曖昧で再考の必要性があるということになり、第 2 部をキャンセルするという方針が出され、投票（2004 年 1 月 6 日）を経て、第 2 部のキャンセルと、新規作業項目として「セルにおけるロボットの統合と据付け」を開始することになった。

しかし、2004 年 10 月に開催された第 8 回 PT 会議で、ISO 10218 と対を成す規格(「セルにおけるロボットの統合と据付け」)の番号が ISO 10218 とかけ離れていると、対の規格であることが理解されず、規格の使用者に大変不便であるという意見が出され、再度、ISO 10218 は 2 部制とすることになった。現在の規格のタイトルは次のとおりである。

・ISO 10218-1 ： Robots for industrial environments - Safety requirements

- Part 1: Robot

・ISO 10218-2 : Robots for industrial environments - Safety requirements

- Part 2: Robot system

なお、Part 1 については、2005 年 2 月に DIS の投票が行われ、賛成多数で可決され、コメントの審議は終了し、FDIS の投票が 2 月 18 日に回付（投票期限 4 月 18 日）されている状況である。

この他、現在SC2では、名古屋会議での決議に基づき、スタディグループ（SG）が組織され、製造環境下のモバイルサービスロボットの国際標準化の今後の進め方について検討が開始された。SGでは主に今後の標準化に向けたマネジメントや体制について検討を行っている。また、2004年のTC184ワシントン会議におけるCLAWAR *の活動報告などに基づき、SC2において製造環境におけるモバイルサービスロボットの標準化について検討するためのAdvisory Groupが招集され、具体的検討を行っている。

* CLAWAR is the abbreviation for CLimbing And Walking Robots. However, the scope has been broadened to mobile robots.

3.2 国際規格回答状況

今年度中に行われた ISO 投票に対する日本の回答状況を表 3.2.1 に示す。

表 3.2.1 ISO 投票に対する日本の回答状況

文書番号	規格名称	回答期限	回答内容	回答の有無
ISO/TC184/SC2 N491(systematic review)	ISO 14539 Manipulating industrial robots - Object handling with grasp-type grippers - Vocabulary and presentation of characteristics	2005.6.30	確認	有
ISO/TC184/SC2 N492(systematic review)	ISO 15187 Manipulating industrial robots - Graphical user interfaces for programming and operation of robots (GUI-R)	2005.6.30	確認	有

3.3　ＩＳＯの国際会議報告

3.3.1　第10回ISO 10218改訂プロジェクトチームシュツットガルト会議

（１）日時

６月１３日（月）09:00～17:00　ISO 10218プロジェクト会議

６月１４日（火）08:30～17:00　ISO 10218プロジェクト会議

６月１５日（水）08:30～12:30　ISO 10218プロジェクト会議

13:30～16:00　Daimler Chrysler Sindelfingen工場見学

６月１６日（木）08:30～15:00　ISO 10218プロジェクト会議

（２）開催場所

Daimler Chrysler AG　Sindelfingen Plant

（所在地：HPC B501, D-71059 Sindelfingen, Germany（Stuttgart近郊））

（３）出席者　９ヶ国１団体３４名

米　国	Mr. Jeff Fryman (Robotic Industries Associations) 議長
	Ms.Roberta Nelson Shea(Pilz Automation Safety L.P.)ISO11161のLiaison
	Mr. R. Todd Dickey (Honda Engineering North America, Inc.)
	Dr. William Drotning (Sandia National Laboratories)
	Mr. Michael A. Taubitz (General Motors Corporation)
	Mr. Mike Calardo (ABB, Inc)
カナダ	Mr. Dave Smith (Honda Of Canada Mfg.)
	Mr. Jim Van Kessel (JVK Industrial Automation, Inc)
	Mr. Christopher Gow (CAG Indutrial Automation)
	Mr. Tom Eastwood (NCC Electronics)
フランス	Mr. Benjamin Frugier (UNM)
	Mr. Didier Fortune (ABB MC France)
ドイツ	Mr. Stefan Sagert (VDMA)
	Mr. Wieland Link (SMBG＝Suddeutsche Metall-Berufsgenossenschaft)
	Mr. Bernhard Kramer (Daimler Chrysler AG) 会議のホスト
	Ms. Ines Reinhardt (Daimler Chrysler AG) 会議のホスト
	Mr. Helmut Riss (Siemens AG)
	Mr. Kevin Behnisch (ABB Automation GmbH)
	Mr. Josef Leibinger (KUKA Roboter GmbH)
	Mr. Richard Schwarz (KUKA Roboter GmbH)
	Mr. Marcus Frey (Duerr Systems GmbH)
	Mr. Guenter Englert (Motomon Robotec GmbH)
英　国	Mr. Steven Shaw (HSE＝Health and Safety Executive)

イタリア　　Mr. Renzo Calcagno (COMAU Robotics)
スイス　　Mr. Guido Schmitter (SUVA)
スウェーデン　Ms. Anette Wester Odbratt (JOKAB SAFETY AB)
Mr. David Wretling (ABB Automation Technology Products Robotics)
Mr. Jan-Ingmar Rosenblad (Motoman Robotics Europe AB)
CEN　　Dr. Patrick Kurtz(Federal Institute for Occupational Safety and Health)
日　本　　橋本 秀一（株式会社 デンソーウェーブ）
松尾 健治（安川電機 株式会社）
中村 尚範（トヨタ自動車 株式会社）
太田 康裕（トヨタ自動車 株式会社）
下原 史靖（株式会社 デンソー）

（４）議事内容

1)ISO/DIS10218-1 の審議

審議開始に先立ち、ホストであるDaimlerChrysler AGから会議の会場となったSindelfingen工場の概要紹介があった。Sindelfingen工場は 1915 年に開設され、工場敷地面積は 1.89km^2、従業員は 42,000 人。工場ではメルセデスベンツの主力車種であるC-class、E-class、S-class、CL-class、及びフラグシップカーのマイバッハを生産。生産は３シフト（基準労働時間は 7 時間）を取っており、生産能力は 2,100 台／日。年間 462,000 台の完成車と 130,000 台のノックダウン車を生産している。工場はDaimlerChryslerとしてのマザー工場となっており、トレーニングセンターを併設し、他の工場へ指導者を適宜派遣している。

工場紹介に続き、ISO/DIS 10218-1 の審議に入った。ISO/DIS 10218-1 は、本年２月１１日締切の国際投票*2にて賛成多数で可決された。その投票にて賛成条件として附帯された各国コメント（約 370 件）を前回会議に続き審議する形で会議を進めた。今回は、5.8 項（ペンダント制御）から審議を再開した。審議結果の主要点を下記に記す。

【注】*2：Draft International Standard（通称 DIS＝国際規格案）に対する投票。
全ての国代表団体の 1/4 以下の反対（技術的理由のない反対、棄権投票は除外）
TC(Technical Committee)またはSC(Sub-Committee)のP-member(Participating member) *3の 2/3 以上の賛成で可決。本規格はISO TC184/SC2*4が統括し、そのP-memberで今回DIS投票実施、可決された。

*3：P-member は、ISO/IEC の専門業務に積極的に参加して、TC または SC 内投票のため正式に提出された全ての問題及び照会原案と最終国際規格案に対する投票の義務を負う。新作業項目の提案、定期見直し（５年）の投票、WG メンバーの任命の権利を有する。

*4：ISO TC184 は、Industrial Automation Systems and Integration を扱う委員

会。その下部組織の ISO TC184/SC2 は、Robots for manufacturing environment について　担当している。ISO TC184/SC2 の P-member は、米*、加*、英*、独*、仏*、伊*、スウェーデン*、スイス*、フィンランド、ベルギー、スペイン、オーストリア、チェコ、ハンガリー、ブルガリア、露、中、韓、日本*の 19 カ国。(*)の９カ国は、ISO10218 改定プロジェクトに参加中。

＜5.8 項　ペンダント制御＞

現行改定案では、安全防護領域内からロボットを制御するために、ペンダント制御又はその他の制御装置が備えてある場合、5.8.2 項から 5.8.7 項の要求事項（イネーブル装置など）を適用しなければならないことになっているが、日本からこのままでは、安全防護柵外からのみ制御する場合はイネーブル装置などの安全要求事項が不用となってしまう。このような場合、ロボットシステム据付時は、安全防護領域内からペンダント操作を行うとし、イネーブル装置などこれら要求事項を保有しないシステムが、要員の判断で安全防護柵内に入って、これら装置を使用し、これら安全機能がないために事故が発生する危険がある。従って安全防護柵内、柵外に関わらず 5.8.2 項から 5.8.7 項の要求事項を全てのペンダントは満足するべきであると主張し、日本の主張通りに規定文が書き換えられた。しかし、各国コメントの審議が終了した審議最終日の１６日（木）の午後、議長が改定案に変更を加えるべき事項がないかと訊きながら、改定案をプロジェクタに本条項を映したとき、会議初日に日本提案によって変更を加えた内容が、元に戻っていることに気づいた。直ちに会議初日の審議で合意した内容が反故となっており、初日の審議に基づいた内容に再書き換えするように議長へ要求した。これに対し、ドイツから、安全防護柵の外に固定して使用するロボットを制御するための制御装置に対し、イネーブル装置などの安全機能は不要であり、妥当性に欠けると主張した。そこで日本は、仮に現状の改定案通りとした場合、ユーザが３ポジションイネーブル装置のないペンダントなど、これら安全機能の不備に気づかず、値段が安いことを理由にそれら機能を保有しない装置を購入し、規格の意図するところを知らずに安全防護柵内に立ち入ってロボットを操作し、事故に至るケースが容易に想定されるので、変更が必要と改めて主張し、固定式の装置には、5.8.2 項から 5.8.7 項の要求事項を適用しないという規定を追加することを新たに提案した。しかし日本の意見は各国の賛同を得ることができず、結果として日本の主張は退けられ、DIS のままとなった。

＜5.8.4 項　イネーブル装置＞

イネーブル装置そのものの機能を規定した c 項（押し付け力とスイッチの位置）、d 項（完全に押し込んだ状態からスイッチが戻るときの装置の作動状態）は、上位規格の IEC 60204-1 で規定され、また ISO 10218-1 の適用範囲外であるので、削除された。

また２個以上のイネーブル装置が装着されているペンダントに対して、ロボットの動作を許可する条件が不明瞭であったので、各スイッチが同時に中間位置にあるときにロボッ

トの動作を許可するという内容に書き換えられた。

＜5.9 項　　同期運転＞

日本、その他の国からから同期運転の定義が不明瞭なので３項にて用語定義すべきであるとの意見が出された。しかし同期運転そのものはロボットシステムに関わることなので、用語の定義はせず、ロボットに要求されることのみ規定することとなり、5.9.1 項　Single pendant control として、１台のペンダントで複数のリンクしたロボットを制御する、またペンダントは、複数のロボットを同期動作できるとともに、各ロボットを独立して動かすことができると規定した。

＜5.10 項　協調運転＞

第７回ストックホルム会議にて、日本の主張に基づき、80W かつ 150N 以下の制御を ISO 13849-1 カテゴリー３で実現できれば、人との協調作業が可能とする条項を追加させたが、さらに今回、制御を伴なわない力と動力のみの物理的条件のみで協調作業が実現できる条項の追加を目指した。欧米各国からそれで安全が確保できるのかと強い疑問が出たが、80W と 150N とロボット動作を示すチャートでのわかりやすい説明と粘り強い折衝で日本の主張を認めさせることに成功した。具体的にはリスクアセスメントに基づいたツールセンタポイント、もしくはフランジ面での出力が、静的推力 80W 以下、もしくは動的動力 150N 以下であれば、人との協調作業が実現できるという規定を d 項として追加させた。第７回会議で追加した条項は、e 項としてそのまま規定として残った。従来、労働省告示第５１号にて『定格出力（駆動用原動機を２つ以上有するものであっては、それぞれの定格出力のうち最大のもの）が８０ワット以下の駆動用原動機を有する機械』と産業用ロボットの適用除外項目が規定されていた。しかし機械安全の専門家から、モータが 80W 以下で本当に安全であろうかとの疑問が呈せられることがあったが、今回の ISO 10218 への規定の追加により、労働省告示第５１号の規定と比較し、より安全状況下で人との協調作業が可能となった。

その他として、協調運転の状態が不明瞭であるとの意見が出て、3.4 項 collaborative operation を追加し、定義されたワークスペース内で人と協調するように意図的にデザインされた状態をいうと定義された。

＜その他＞

DIS 投票時点での改定案には、ソフトウエアの信頼性に関わる各条項において、参照規格として IEC 62061 が挙げられていたが、第９回ロンドン会議後に議長によって IEC 62061 への参照が全て削除されている。

また 5.2.7 項ブレーキ装置は、第９回ロンドン会議後、実現手段が出願特許に抵触することを理由に議長によって全削除されている。

2)ISO/DIS 10218-2 の審議

前回の会議で各国が分担して原案を作り、今回会議にて審議する予定であったが、part

１の FDIS 作成に全力をあげたため、今回は一切審議を行わなかった。

3)次回プロジェクト会議

次回のプロジェクト会議は、以下の要領で開催されることになった。

日程　　２００５年９月２１日（水）～９月２３日（金）の３日間

場所　　米国シカゴ

ホスト　RIA

内容　　part2 の審議

上記日程・開催地は翌週、９月２６日（月）～２８日（水）にシカゴで開催される SIAS 2005（4th International Conference Safety of Industrial Automated Systems）、さらに９月２７日(火)～２９日(木)に同地で開催される 2005 International Robots & Vision Show and Conference の日程、場所に合わせて設定された。

写真 3.3.1.1　会議が開催された Sindelfingen 工場内の建物

写真 3.3.1.2　Daimler Chrysler の Sindelfingen 工場

写真 3.3.1.3　シュツットガルト会議の様子

3.3.2　第 11 回 ISO 10218 改訂プロジェクトチームシカゴ会議

（１）日程

9 月 21 日（水）9：00～17：00　ISO 10218 改訂会議

9 月 22 日（木）8：30～17：00　ISO 10218 改訂会議

9 月 23 日（金）8：30～15：00　ISO 10218 改訂会議

（２）開催場所

Embassy Suites Hotel Chicago-O'Hare Rosemont

(所在地：5500 North River Road, Rosemont, シカゴ、米国)

（３）出席者

８ヶ国３１名

米　国　　Mr. Jeff Fryman (RIA) 議長

Ms. Roberta Nelson Shea (Pilz Automation Safety L.P.) ISO11161 Liaison

Mr. Mike Taubitz (General Motors Corporation)

Mr. Gilbert Dominguez (Rimrock Automation, Inc)

Mr. Mike Calardo (ABB, Inc)

Mr. R. Todd Dickey (Honda Engineering North America, Inc.)

Mr. William Drotning (Sandia National Laboratries)

Mr. Ram Sharma (Fanuc Robotics America)

Mr. Claude Dinsmoor (Fanuc Robotics America)

Ms. Stacy Kelly (SICK, Inc)

Mr. Khalid Mirsa (KUKA Robotics Corp.)

カナダ　Mr. Jim Van Kessel (JVK Industrial Automation, Inc)
Mr. Tom Eastwood (IAPA)
フランス　Mr. Benjamin Frugier (UNM)
Mr. Didier Fortune (ABB MC France)
ドイツ　Mr. Bernhard Kramer (DaimlerChrysler AG)
Mr. Wieland Link (SMBG Suddeutsche Metall-Berufsgenossenschaft)
Mr. Stefan Sagert (DIN NAM c/o VDMA)
Mr. Guenter Englert(MOTOMAN robotec GmbH)
Mr. Helmut Riss (Siemens AG)
イタリア　Mr. Renzo Calcagno (COMAU Robotics)
ｽｳｪｰﾃﾞﾝ　Ms. Anette Wester Odbratt (Jokab Safety AB)
Mr. David Wretling (ABB Automation Technology Products Robotics)
英　国　Mr. Steven Shaw (Health and Safety Executive)
日　本　山田　陽滋（（独）産業技術総合研究所）
橋本　秀一（(株)デンソーウェーブ）
松尾　健治（（株）安川電機）
土肥　正男（IDEC(株)）
生島　譲次（トヨタ自動車(株)）
太田　康裕（トヨタ自動車(株)）
下原　史靖（(株)デンソー）

（４）ISO 10218　Part１の進捗状況の説明

議長より ISO 10218　Part１の進捗状況が説明された。ISO/FDIS 10218-1 は 9 月に ISO の事務局に提出された。あと２ヶ月でフランス語翻訳が完了し、12 月末には各国に送付される。その後 2 ヶ月以内に投票に附され、最終的に IS（International Standard）として発行されるのは 2006 年の中ごろになるだろうとのこと。

（５）ISO 10218　Part２の審議

あらかじめ各国が分担して作成したドラフト案をもとに審議が始まった。「4 章 Safety Strategy」にどんな内容を盛り込むかというところから審議が始まったが、ドラフト案が会議直前に配布され、十分な検討時間が与えられていなかったため、当初あまり意見が出ず、なかなか審議が進まなかった。審議を速やかに進めるために、日本より以前提案した Part１と Part２がカバーする内容を示した表と、ロボットのライフサイクルをフローチャートに表したものを再度示し、Part2 の構成は ISO 11161 に従うのが分かりやすいのではないかと提案し、図 4.2.1 に示すフローチャートについては本文中に盛り込まれた。US より ISO 11161 は統合生産システム（IMS：Integrated Manufacturing Systems）の規格であり、ロボットだけでなく工作機械や搬送機なども

システムの一部として含まれることがあるので、非常に包括的な内容をカバーしており、ロボットをシステムの一部として構成した場合の固有の危険源（ハザード）についての記載はない。従って ISO 10218-2 とは別物であり、かならずしも ISO 11161 の構成に従う必要はないという意見が出された。

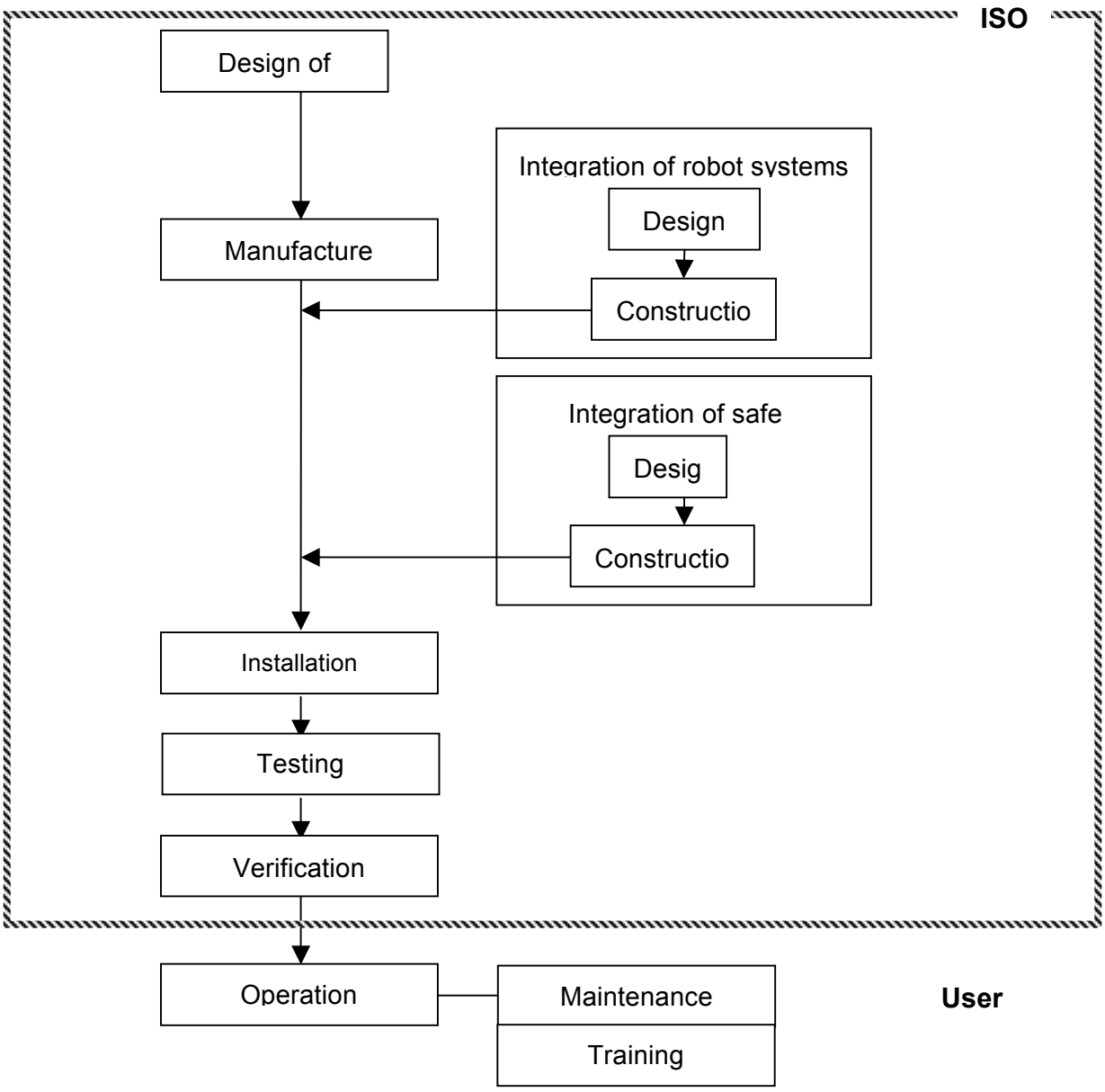


図 4.2.1　ロボットのライフサイクル（規格本文中に記載）

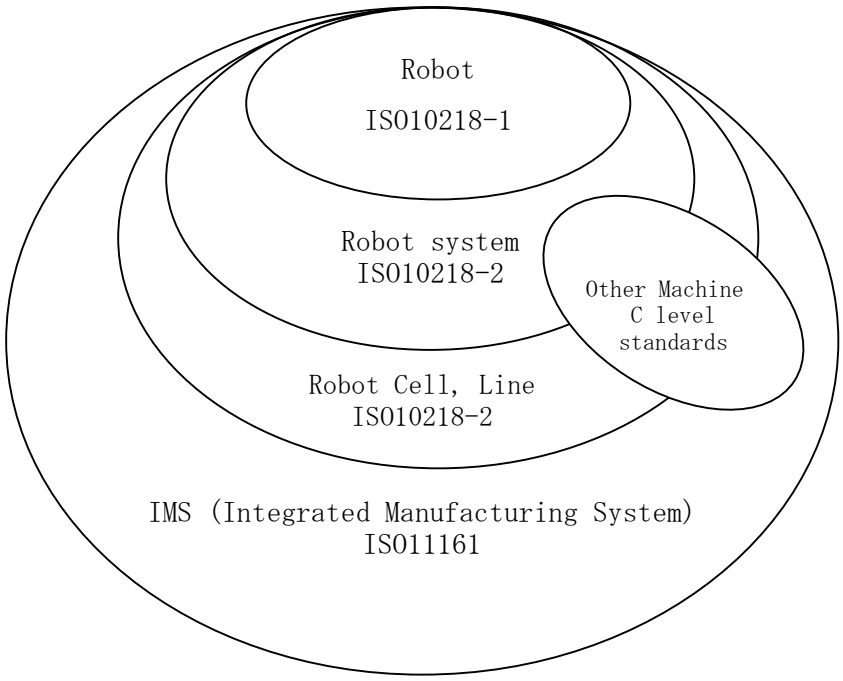


図 4.2.2 各規格の適用範囲（規格本文中に記載）

その後、さらに Part２の適用範囲と ISO 11161 との関係について審議が行われたが、結局、ISO 11161 の目次をアレンジし、Part2 のドラフトの各章をその構成に当てはめることになった。そして再度 Part2 の適用範囲についての議論が行われた。ロボットが含まれるワークセルやラインを ISO 10218-2 で扱うか、それとも ISO 11161 か、また、ロボットがプレス機にワークピースを供給する場合はどう切り分けるかなど、ドイツから実例を写真で示しながら議論が行われる場面もあった。

図 4.2.2 に示すように、各規格の適用範囲を表そうとしたが、設計、安全防護、設置の各ステージにおいて適用すべき規格が異なるため図に表しきれず、日本から提出した表を用いて、（１）ロボット、（２）ロボットシステム（協調ロボットを含む）、（３）ロボットセルおよびライン、（４）ロボットを含む統合生産システム、（５）ロボットを含まない統合生産システム、の５つの形態に対して、設計、安全防護、設置の３つのステージにおいて、どの規格を適用すべきかが議論された（表 4.2.1 に示す）。審議の途中であったがここで時間切れとなり、次回会議に持ち越された。

（６）今後の日程

次回会議の日程を確認した。

第 12 回会議　2006 年 1 月 18 日（水）～20 日（金）

ロスアンジェルス近郊（米国）、ホストは未定（RIA または ABB で調整中）

また、ISO 10218 会議の翌週１月 23～24 日に ANSI/B11（Machine Tool／工作機械）の会議が開催され、ISO 10218 の委員はオブザーバとして出席しても良いとのこと。

表 4.2.1　ライフサイクル別の各規格の適用範囲

	Design	Safeguarding	Installation
Robots	ISO10218-1	-	-
Robot systems including synchronized robots	ISO10218-2	ISO10218-2	ISO10218-2
Robot cells and lines	ISO10218-2	ISO10218-2 & other C standard for included equipment	ISO10218-2 & other C standard
Integrated manufacturing system with a robot	ISO11161 & ISO10218-2	ISO10218-2 & other C standard	ISO10218-2 & other C standard
Integrated manufacturing system without a robot	ISO11161 & other C standard	ISO11161 & other C standard	ISO11161 & other C standard

3.3.3　ISO 10218 改訂プロジェクトアナハイム会議

（１）日程

１月１８日（水）9:00～17:00　ISO 10218 プロジェクト会議

１月１９日（木）8:30～17:00　ISO 10218 プロジェクト会議

１月２０日（金）8:30～15:00　ISO 10218 プロジェクト会議

（２）開催場所

Disneyland Hotel　（所在地：1150 Magic Way, Anaheim, California, USA）

（３）出席者

９ヶ国３６名

米　国　　Mr. Jeff Fryman (Robotic Industries Associations) 議長

Ms. Roberta Nelson Shea (Pilz Automation Safety L.P.)

ISO 11161[*1]のliaison

【注】*1：ISO 11161＝Safety of machinery - Integrated manufacturing systems - General requirements

Mr. R. Todd Dickey (Honda Engineering North America, Inc.)

Dr. William Drotning (Sandia National Laboratories)

Mr. David Felinski　(Association for Manufacturing Technology)

Mr. Michael A. Taubitz (General Motors Corporation)

Mr. Mike Douglas (General Motors Corporation)

Mr. Frank Webster (Scientific Technologies, Inc.)
Mr. Mike Calardo (ABB, Inc)
Mr. Gilbert Dominguez (Rimrock Automation, Inc)
カナダ Mr. Dave Smith (Honda Of Canada Mfg.)
Mr. Jim Van Kessel (JVK Industrial Automation, Inc)
Mr. Christopher Gow (CAG Indutrial Automation)
Mr. Tom Eastwood (NCC Electronics)
フランス Mr. Benjamin Frugier (Union de Normalisation de la Mécanique)
Mr. Didier Fortune (ABB MC France)
ドイツ Mr. Stefan Sagert (VDMA)
Mr. Wieland Link (Suddeutsche Metall-Berufsgenossenschaft)
Mr. Bernhard Kramer (DaimlerChrysler AG)
Mr. Helmut Riss (Siemens AG)
Mr. Josef Leibinger (KUKA Roboter GmbH)
Mr. Richard Schwarz (KUKA Roboter GmbH)
英 国 Mr. Steven Shaw (Health and Safety Executive)
イタリア Mr. Renzo Calcagno (COMAU Robotics)
スイス Mr. Guido Schmitter (SUVA)
ｽｳｪｰﾃﾞﾝ Ms. Anette Wester Odbratt (JOKAB SAFETY AB)
Mr. David Wretling (ABB Automation Technology Products Robotics)
Mr. Jan-Ingmar Rosenblad (Motoman Robotics Europe AB)
日 本 山田 陽滋 ((独)産業技術総合研究所)
橋本 秀一 ((株) デンソーウェーブ)
松尾 健治 ((株) 安川電機)
土肥 正男 (IDEC (株))
岡田 和也 (IDEC (株))
安藤 真一 ((株) 不二越)
中村 尚範 (トヨタ自動車 (株))
下原 史靖 ((株) デンソー)

（４）ISO/FDIS 10218 part1 の状況

議長より、昨年６月に実質的な審議を終了した ISO/FDIS 10218-1 (Robots for industrial environments - Safety requirements - Part 1: Robot) の状況について報告があった。

ISO 10218-1 は昨年９月にFDIS（最終国際規格案＝技術的な検討は終了し、これ以降、誤記など編集上の問題のみ変更が受け付けられる）としてISO中央事務局へ回付され、９

月の第 11 回プロジェクト会議時は、１２月上旬にFDIS投票（ISO規格成立可否を問う国際投票）が開始される見込みであった。しかし翻訳の遅れとミス（ISOは英語とフランス語で発行され、フランス語化作業中に付表の翻訳忘れで差し戻しなど発生）で、いつ国際投票が開始されるか日程がはっきりしない状況であるとの報告*2があった。

【注】*2：その後、翻訳作業は終了し２月１６日に投票が開始された。投票期限は４月１６日。

（５）ISO 10218 part2 の審議

前回会議に続き、ISO10218-2（Robots for Industrial Environment - Safety requirements - Part 2 - Robot system and Integration）の規格提案に向けた原案（Working Draft）作成を行った。

＜リスクアセスメント実施例＞

前回会議で各国の宿題となっていたロボットシステムのリスクアセスメント事例の提供について、各国の事例が議長に提出され、紙の資料が会議メンバーに回覧された。提出された事例は、GM、ABB、HONDA、MOTOMAN（スウェーデン）、SUVA（事例カタログが配布された）など。日本は、各社の協力を得て、トヨタ自動車、神戸製鋼所、オリエンタルモータ、川崎重工業、IDEC の事例を準備した。しかし各社からの機密保持の要望に配慮するため、議長から要求があるまで提出を見合わせることとしたが、各国に類似の事例がなく、また各国事例に比較し完成度の高いものとして IDEC の小型ロボットを使用した電子部品組立セル生産システムの実施例を提供した。各国から提供された事例は GM の 164 頁に及ぶものから、ABB がシステム化を担当した事例のわずか 4 頁のものまで、多種多様であった。

＜デンソーにおける機械安全への取組みのプレゼンテーション＞

各国から提示されたリスクアセスメント実施例には、ばらつきがあり、従来のリスクアセスメント方式では到達した安全レベルに差が発生する可能性が高いと考え、デンソー下原委員がデンソーの機械安全・労働安全に関する取組みと新たなリスクアセスメント手法の提案プレゼンテーションを実施した。

従来、ISO/IEC 安全規格に適合したロボットシステムを設計・製造・設置するためには、参照すべき規格が多く、また各規格のどの条項をどのように具現化するかは、各設計者の技術力（知識、経験など）に負う部分が多く、結果としてシステムの安全レベルに差が生じやすかった。リスクアセスメントにおいても同じで、専門知識と経験が豊富な技術者かそうでないかによって、最終的に到達できる安全レベルにも大きな差が生じる危険性があった。

こうした中でトヨタ、デンソーでは、ISO/IEC などの国際安全規格、各国規格、法令などに基づいて、具体的な設計方法、部品選定、設置方法などを規定した社内規格を運用した設備つくりを行っており、その結果、デンソーでは、日本国内、また国際的に見て

も高水準の安全性が確保できていることを、具体的な統計データやそのしくみなどを明示しながら各国委員に説明した。さらにこの社内規格を制定するときに機械安全、機械の設計・製造・据付に精通した専門家を集めてリスクアセスメントを実施し、その妥当性を評価しておけば、個別のロボットシステム設計・製造・据付時には、社内規格に網羅されていない事項に絞ってリスクアセスメントすればよくなる。従って技術者の国際安全規格の知識有無に関わらず、高い安全性を有し、かつ一律の安全レベルを確保したロボットシステムの実現が可能となると訴えた。

このデンソー下原委員の提案に対し、ユーザー委員を中心に各国とも賛同を示し、デンソーの事例を規格の附表として掲載することに同意した。

しかし英国 Steven Shaw 委員は、この手法に対する賛同を表明したものの、これはリスクアセスメント手法に関わる内容なので上位規格 ISO 14121（機械の安全性－リスクアセスメントの原則）にて規定されるべき内容であるとの意見を出した。

一方、他国委員から英国委員のコメントに対し、現在、改定作業中の ISO PDTR 14121-2 において、ISO 10218 への参照を記載しているので、問題ないのではないかとの意見も出た。英国委員から ISO 14121 を担当している同僚の英国委員に相談してみるとのコメントが出て、本件については、次回会議以降、審議を継続することになった。

ISO PDTR 14121-2（Safety of machinery－Risk assessment－Part2:Practical guidance and examples of methods　2005 年 9 月 5 日版）の関連部分の抜粋を以下に示す。

ISO PDTR 14121-2

5.3.4　Creative thinking

Detailed considerations of probabilities, severity of consequences or design of protective measures discourage creative thinking at this phase of the risk assessment process. This should be done later during risk estimation evaluation and reduction.

It is useful for both hazard identification and anticipating protective measures, to reference any standards that are relevant to a specific hazard or specific type of machinery. An example of a standard relevant to specific hazards is IEC 60204-1 that deals with electrical hazards. An example of a machinery specific standard is ISO 10218, relevant to safety of robots.

＜規格の構成検討＞

現状の原案では、各条項の構成にまとまりがないので、フランスから提示された危険源リストをもとに危険源の洗い出しと目次構成の再検討を行った。さらに新たな目次に沿って、各国が再度分担して各条項の規定内容を検討することになった。日本は、システムのクリアランスなどを規定する 6.3 項 Layout を引き続き担当することになった。目次構成と各国分担を以下に示す。

【注】*3：各項の番号は作業途中のため、一部整合性の無い箇所有り。

6 Safety requirements and protective measures

6.1 General6.2 General requirements for all robot uses

6.2.1 Installation Specifications [Canada]

6.2.2 Environmental Conditions6.2.3 Control Location6.2.4 Actuating controls6.2.5 Power Requirements6.2.6 Grounding Requirements6.2.7 Associated Equipment Shutdown6.2.8 End-Effector (EAOT) Power Loss or Change6.2.9 Emergency Recovery Procedure6.2.10 Precautionary Labels6.2.11 Lighting6.2.12 Conspicuity

6.3 Layout [Japan]

6.3.1 Working area control/ limitation6.3.2 Safe access design inside the cells [Germany]6.3.3 Safe distances [Germany]6.3.4 Material handling6.3.5 Conveyor and extracting systems [Canada]6.3.6 Maintenance6.3.3 Specific process hazards6.3.4 Safety interfaces6.8.6 Interface IMS6.11 Zoning implementation6.10 Robot system clearance NWI

6.4 Operational modes [Sweden]

6.4.1 General6.4.2 Selection6.4.3 Automatic mode6.4.4 Manual mode / Teach mode

6.5 Pendants [Sweden]6.6 Cableless installations

6.7.4 Limiting robot motion [USA]

7.2 Restricted space67.4.2 Non-mechanical limiting devices67.4.3 Dynamic limiting devices6.9 Dynamic restricted space NWI

6.7.1 Controls [USA]

6.7.2 Interlocks6.7.3 Machine Limits and Hazards6.7.4 Perimeter Safety6.7.5 Human Intervention6.7.6 End Effector Tooling6.14 Start and Restart

67.4.2 Safeguarding device selection [Germany]

6.7.7 General criteria67.4.3 Safeguarding device safety distance6.7 Safeguard selection and options / Auswahl von Schutzeinrichtungen6.7.8 Electric Sensitive Protective Equipment (ESPE)67.4.5 Muting

6.7.9.2 Collaborating robots [Germany]

6.7.9.3 Robot is connected with other machines or other robots6.7.9.4 Safeguarding cell6.7.9.5. Change from automatic operation to collaborative operation and back (no operating mode change)6.8. Operation modes in the common area6.8.1. Robot stops in the collaborative space, operator acting6.8.2. Robot is guided by the operator (e.g. force sensors)6.8.3. Robot moves automatically -

Operator is not in the hazard area6.8.4. Robot moves autonomously with reduced speed. Operator acting.6.8.5. Robot moves autonomously (>250 mm/sec) - Operator acting

6.12 Teaching and programming

6.13 Process unique hazards and safety requirements

6.15 Emergency recovery procedure

＜各条項の検討＞

６章 Safety requirements and protective measures の冒頭部分の条項について規定内容の審議を行った。主なポイントを以下に記す。

・6.2.2 Environmental Conditions 項

『ロボットセルは予期される操業状態／環境条件に適合（compatible）しなければならない。』という規定から、『ロボットは、予期される操作上、環境上の条件に基づいて選択されて、製造者が提示したロボットの制限内でなければならない。』とロボット製造者が指定する環境、操作条件に基づかなければならないことを追記した。

・6.2.11 Lighting 項

原案ではプログラム、保守時の明るさを 500lux 以上であることを求めているが、その妥当性と根拠が論議された。ロボットの下部など照明装置のない箇所の保守時は、懐中電灯などの活用でも良いのではないかとの意見が出たが、後日、論議していくことになった。

・6.2.12 Conspicuity 項（conspicuity：顕著性）

本項目、及び規定内容のほとんどは削除し、6.2.11 Lighting 項に組み込む形になった。また、『ロボットの可動部は、明確に周囲と対照をなすように着色しなければならない。』を『・・・着色すべきである。』に変更した。

＜その他＞

会議終了後に Honda Engineering North America, Inc.の提供で、Disneyland 内にあるホンダ ASIMO のアトラクション（Honda ASIMO Theater）を見学した（1 月 18 日（水）18:00～18:30）。ASIMO は一世代前のタイプであったが、女性出演者とのかけ合いをするショウ仕立ての展示で、観客へのアピール度の高いアトラクションであった。

（６）今後の日程

次回会議以降の日程を下記のように決定した。しかし第 14 回以降の会議はホストが未定なので、各委員の都合などで変更になる可能性が大きい。

第 13 回プロジェクト会議　06 年 6 月 12 日（月）～ 6 月 14 日（水）　ホストは UNM パリ近郊 AFNOR（フランス規格協会）オフィス

TC184/SC2 会議　06 年 6 月 15 日（木）～ 6 月 16 日（金）　同上

第 14 回プロジェクト会議　06 年 10 月 25 日（水）～10 月 27 日（金）　ドイツまたは

ワシントン DC

第 15 回プロジェクト会議　07 年 2 月 14 日(水)～ 2 月 16 日(金)　オーランド(USA)

第 16 回プロジェクト会議　07 年 5 月 30 日（水）～ 6 月 1 日（金）　スイス（暫定）

写真 3.3.3.1　会場全景

写真 3.3.3.2　日本メンバーのプレゼンテーション

3.3.4　第3回 ISO/TC184/SC2 アドバイザリーグループ マイアミ会議

（1）概要

ISO TC184/SC2 は産業用環境における機械安全を主に扱う委員会である。現在、産業用環境で稼動する移動サービスロボットの標準化が当委員会で行われるべく、Advisory Group、および Study Group の２つの会議体が設けられて、標準化対象項目、および活動組織についてそれぞれ検討が進められている。本報告では、報告者が米国マイアミで開催された Advisory Group に出席し、わが国でもとくにその安全要求に関する標準化に期待の集まるサービスロボットの標準化について積極的に討論参加した。

（2）日程

2006年1月30日（水）　12：00～17：00　AG会議（総括議論）

2006年1月31日（木）　8：00～12：30　AG会議（WG議論）

（3）開催場所

Crowne Plaza Hotel （所在地：1150 Magic Way, アナハイム、カリフォルニア州、米国）

（4）出席者

5ヶ国8名

Prof. Gurvinder S Virk 議長（英）

Prof. Bryan Bridge（英）

Prof. Sukhan Lee（韓）

Prof. Seungbin Moon（韓）

Prof. Erwin Prassler（独）

山田　陽滋（日）

Mr. Jeff Fryman（米）

Mr. Vern Mangold（米）

（5）会議内容

1)　自己紹介

議長である Virk 教授の開会の挨拶の後、出席者の自己紹介が行われた。

今回の会議は米国で開催されたため、米国からのオブザーバーとして、ISO 10218 会議の議長 Jeff Fryman 氏が出席した。

2)　AGミーティングのこれまでの活動のあらまし、および今後のスケジュール

議長から、AGミーティングのこれまでの活動のあらまし、および今後のスケジュールが述べられた。そもそもは、CLAWAR 国際会議で移動サービスロボットの標準化を推進しようとする議論があって、これに基づき欧州の各国標準化団体に対して意見が求められた。その結果、TC184/SC2 で産業用環境で稼動する新たなロボット分野の標準化を提案するよう求められ、ISO resolution 276 により Prof. Gurvinder Birk を議長とする「移

動サービスロボットの国際規格」のワークアイテムを検討する会議体（Advisory Group：ＡＧ）の設立が認められた。このＡＧは，初期的におよそ 30 人のメンバーで構成され、2006 年 6 月のパリ総会において、その後どのような項目について検討を始めるかの答申が求められることになった。

これまでに、英国のロンドン、イタリアのカタリナと 2 回の会合が持たれた。

3)　各ＷＧに分かれて検討を進めるための方針の決定

先に述べたイタリアのカタリナで開催された第 2 回ＡＧ会議において、すでに１４のＷＧに分かれて、それぞれがワークアイテムの詳細を決定することが決まっていた（日本からは、あまりにローカルかつ短期間で、欧州での過去 2 回の会議開催が決定されたため、参加することができなかった）。そのほか、現在の関連規格を検討するＷＧ１５、そして今後、どのような規格体系を構築するかを検討するＷＧ１６さらに、その他の視点で新たなワークアイテムの検討を行うＷＧ１７が用意された。この際、各ＷＧの取りまとめ責任者も決められた。各ＷＧの主検討項目は以下のとおり。

WG1-Mobile robot system

WG2-Service tasks

WG3-In-situ locations

WG4-Responsible control of a certified operator

WG5-Safety

WG6-Black box

WG7-Communications

WG8-Maintenance standards

WG9-Environments

WG10-Robot-environment standards

WG11-Operators

WG12-Performance metrics

WG13-Technical tasks

WG14-Vocabulary

今回も、それぞれの内容について、参加者全員が一堂に会して、さらに検討を重ねた。日本は、現在、メンバーを２名投入しており（山田（産総研）、太田（トヨタ自動車））、これら２名の参画すべきＷＧとしては、現在、すでに国内の調査研究委員会活動が進められているサービスロボットの安全（ＷＧ５）と用語（ＷＧ１４）にメンバーとして名を連ねることになった。また、次回までに、とくに安全規格について日本からもさらに情報を提供し、議論が効率よく進められるように規格リストの構造化を図ることになった。次回第４回会議では、各ＷＧでのまとめに基づいて、全体討論を行うことになっている。次回２日目の議長を山田委員がつとめることになった。

（６）今後の日程

次回以降の会議の日程が確認された。

第４回会議　2006 年 3 月 6 日（月）～7 日（火）　スウェーデン

第５回会議　2006 年 4 月 19 日（水）～14 日（金）　　日本

第６回会議　2006 年 5 月 11 日（木）～12 日（金）　　ドイツ

　　2006 年 6 月 15 日（月）～17 日（水）　　フランス総会

3.3.5　第 4 回 ISO/TC184/SC2 アドバイザリーグループ ストックホルム会議

（１）概要

ISO TC184/SC2 は産業用環境における機械安全を主に扱う委員会である。現在、産業用環境で稼動する移動サービスロボットの標準化が当委員会で行われるべく、Advisory Group、および Study Group の２つの会議体が設けられて、標準化対象項目、および活動組織についてそれぞれ検討が進められている。本報告では、報告者がスウェーデン、ストックホルムで開催された第 4 回 Advisory Group に出席し、わが国でもとくにその安全要求に関する標準化に期待の集まるサービスロボットの標準化について積極的に討論参加するとともに、とくに会議 2 日目は、議長を務めた。

（２）日程

2006 年 3 月 6 日（月）　　9：30～17：00　AG 会議（包括議論+安全 WG）

2006 年 3 月 7 日（火）　　9：00～15：30　AG 会議（WG 議論）

（３）開催場所

SIS（スウェーデン規格協会）

(所在地：Sankt Plausgatan 6、ストックホルム、スウェーデン)

（４）出席者

8 ヶ国 12 名+オブザーバー4 名

AG Members, Representations

GS Virk, University of Leeds. Chairman, UK

Gunnar Bolmsjö, Lund University, Sweden

Rodolphe Gelin, CEA, France

Renzo Calcagno, COMAU Robotics, Italy

Mattias Lafvas, SIS, Sweden SC2 Secretariat

Josef Leibinger, KUKA Roboter, Germany

Seungbin Moon, Sejong University, Korea

Per Norlin, ABB, Sweden, SC2 Chairman

Yasuhiro Ota, Toyota Motor Company, Japan

Osman Tokhi, University of Sheffield, UK

Yoji Yamada, AIST, Japan

Sami Ylönen, Helsinki University of Technology, Finland

Observers

B Bridge, London South Bank University, UK

Jeff Fryman, Robotic Industries Association, USA.

Stefan Tangen, SIS, Sweden

Hitoshi Konosu, Toyota Motor Europe, Belgium

（５）会議内容

1) 自己紹介

議長である Virk 教授の開会の挨拶の後、オブザーバーも含め出席者全員の自己紹介が行われた。

2) AG ミーティングのこれまでの活動のあらまし及び今後のスケジュールの確認

議長から、とくに前回議事録に基づいての AG ミーティングのこれまでの活動のあらまし、および今後のスケジュールが述べられた。前回報告分からの発展としては、2006 年 6 月のパリ総会において、30 ページ程度の報告書を準備する必要があるとの認識で合意がなされ、また、本会議と並行してもたれている Study Group との業務分掌について説明がなされた。

3) AG が目指す work items に関する包括的議論

本会議の提案内容として、移動サービスロボットのスコープ（適用範囲）に関する議論が行われ、本来、どこまでを本会議の責務とするか、移動サービスロボットの定義をどう設定するか、さらに、産業環境という制限をどのように取り扱うか、等について検討を行い、最終的に、”in the industrial environments”のフレーズを削除する（将来的に生産ロボットや B to B 製品だけでなく B to C 製品にも適用できるような規格となるように広くスコープを捉えておく）ことになった。

4) 各ＷＧに分かれて検討を進めるための方針の決定

各ＷＧの主検討項目は以下のとおり。

WG1-Mobile robot system

WG2-Service tasks

WG3-In-situ locations

WG4-Responsible control of a certified operator

WG5-Safety

WG6-Black box

WG7-Communications

WG8-Maintenance standards

WG9-Environments

WG10-Robot-environment standards

WG11-Operators

WG12-Performance metrics

WG13-Technical tasks

WG14-Vocabulary

今回も、それぞれの内容について、参加できる者全員が一堂に会して、各 WG の検討項目に対する議論を重ねた。2 日目に Study Group のメンバーが AG 会議参加者の中からぬけるために、最も重要な項目であるとの共通認識がもたれている WG5-Safety について、はじめに議論が行われた。その結果、従来の製造分野のための（産業用）ロボットに関する安全要求事項にはなくて、移動サービスロボットに特有な標準活動に値する work items として、

- Human as work piece
- Combined locomotion and manipulation
- Mobility in vertical plane

が同定され、これらを中心として、さらに現存の関連 C 規格を収集調査しながら、検討を進めることになった。現規格の収集は、ドイツ Leibinger 委員と山田委員がとりまとめを行うことになった。WG5 のほか WG１～4 までも、会議初日に見直しが行われた。さらに、安全関連では、規格化に際し professional use と personal use で分ける必要が本当にあるかについて、議論が交わされた。

会議 2 日目は、他の技術的な WG、すなわち WG6～WG14 までの work items 細項目の確認、ならびに新たに必要と提案された項目の列挙・検討と、それぞれの細項目のつながりを考えた検討項目群の構造化を行った。

（６）今後の日程

次回以降の会議の日程が確認された。

第５回会議 2006 年 4 月 19 日（水）～21 日（金） 日本（豊田市）

第６回会議 2006 年 5 月 11 日（木）～12 日（金） ドイツ（アウスブルグ）

フランス総会 2006 年 6 月 15 日（月）～17 日（水） フランス（パリ）

3.4 ロボットの安全性に関する国際調査報告

3.3 で報告した ISO 国際会議の前後に、日本の提案を有利に進める目的等で関係機関及び関連会議の調査を実施したので、以下にその報告を行う。

3.4.1 MOTOMAN ROBOTEC GmbH との ISO10218 に関する事前会議

（１） 目的

ISO 10218 規格（産業ロボット／システムの安全要求）事前検討会議

ドイツの ISO 10218 規格委員である Gunter Englert 氏(MOTOMAN ROBOTEC GmbH)と ISO 10218-Part1 の規程内容についての事前会議であり、特に、ISO 10218-Part1 の項目の中で、ドイツでの主要なアプリケーションである同期運転に関する日本案の説明を実施し、理解を求めると共に、問題点があれば、本会議にてその問題点を指摘するため。

（２）調査者　松尾　健治　（株式会社　安川電機）

（３）日程　　2005 年 6 月 10 日（金）：9:00～17:00

（４）開催場所　MOTOMAN ROBOTEC GmbH 本社

Kammerfeldstrasse 1, 85391, Allershausen, Germany

（５）出席者　Gunter Englert (MOTOMAN ROBOTEC GmbH)

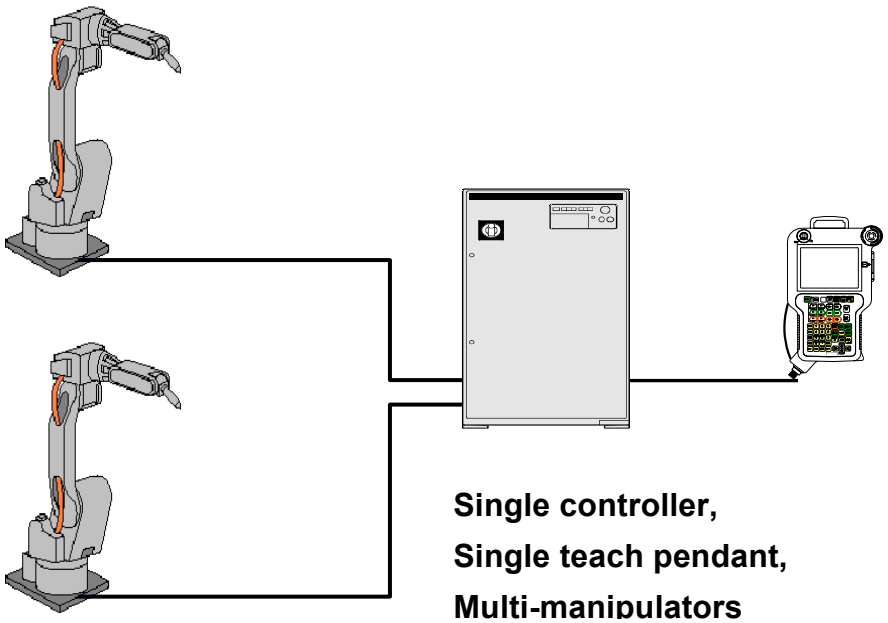
Keiichi Takaoka (MOTOMAN ROBOTEC GmbH)

松尾　健治(株式会社　安川電機)

（６）内容

1)　同期運転時のシステム構成

ISO 10218-Part1（産業ロボットの安全要求）の同期運転項目に対して、図 3.4.1.1 に示す同期運転時のシステム構成についての日本の考える構成について説明。特に、同期運転では、コントローラの数に限らず、複数のロボットを操作する際、ティーチングペンダントは、一つであることの重要性を説明し、同意が得られた。



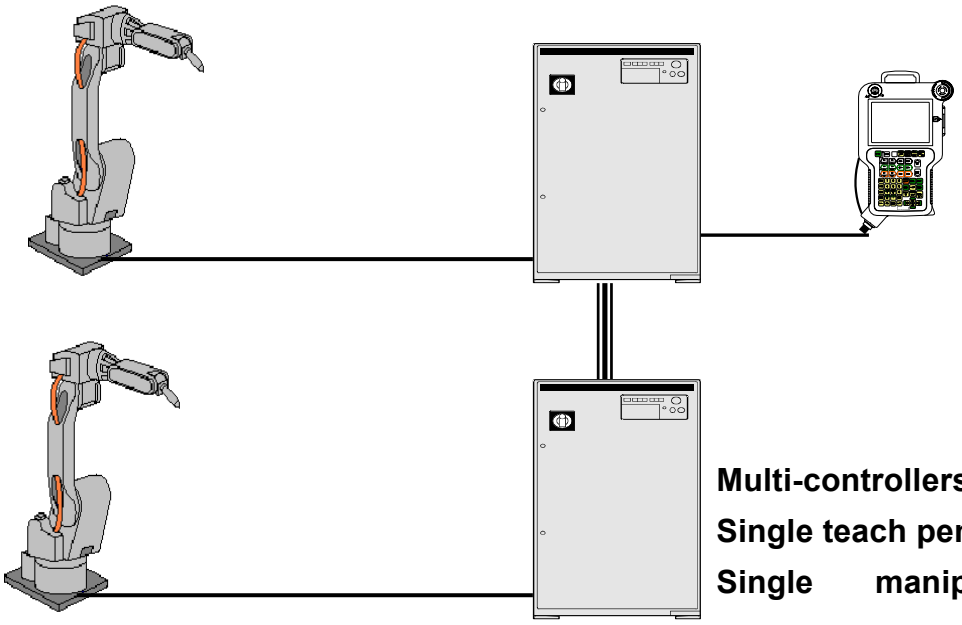
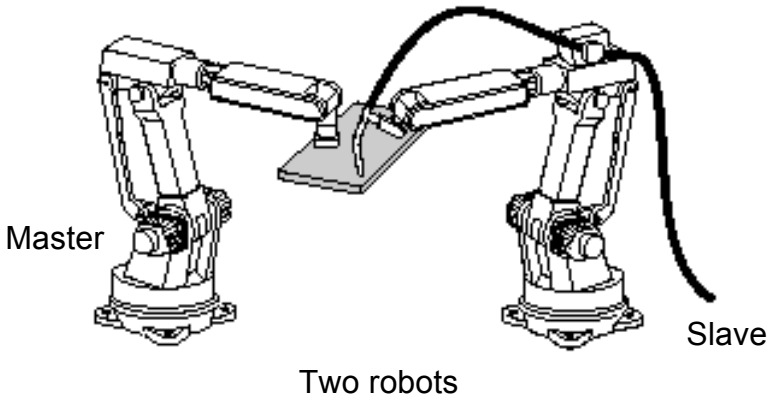


図 3.4.1.1　System construction for synchronized robot

2)　同期運転時のシステム構成例

図 3.4.1.2 に示す同期運転時のシステム構成例についての日本の考えを説明。特に問題なく、同意が得られた。



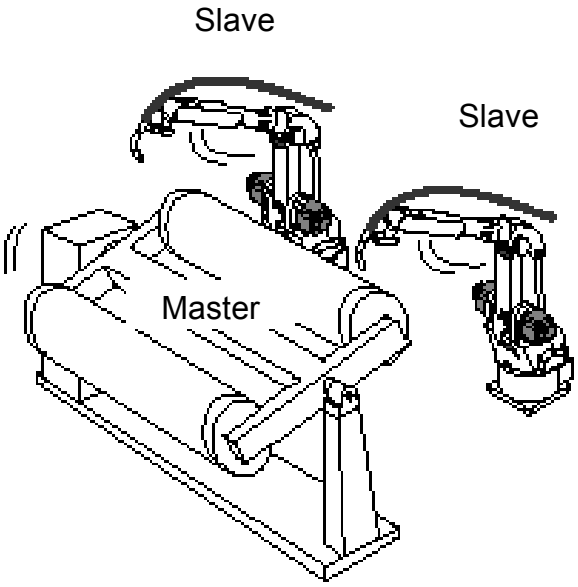


図 3.4.1.2　Example for synchronized robot

3.4.2　Motoman Inc との ISO 10218 に関する事前会議

（1）目的

ISO1 0218 規格（産業ロボット／システムの安全要求）事前検討会議

特に、米国でのアプリケーションや原案（英文）の米国解釈と日本解釈の差異等についての事前会議を実施し、問題点があれば、本会議にてその問題点を指摘するため。

（2）出張者　松尾　健治　（株式会社　安川電機）

（3）日程　2005 年 9 月 19 日（月）：9:00～17:00　Motoman Inc での検討会議

2005 年 9 月 20 日（火）：9:00～17:00　Motoman Inc での検討会議での結果の取り纏め

（4）開催場所　Motoman Inc 本社　805 Liberty Lane West Carrollton, OH 45449

（5）出席者　Kiyoshi Hirakawa (Motoman Inc)　他２名

松尾　健治(株式会社　安川電機)

（6）内容

1)　ISO 10218-Part1 内容確認

ISO 10218-Part1（産業ロボットの安全要求）の項目に対する内容の擦り合わせ。特に、

・これまでの日本、米国からの規程内容変更要求に対して、その要求が確実に規格書

に反映されているかどうかの確認実施⇒特に大きな問題がなかったが、騒音規程の参照が不明確。

・原文（英文）の米国解釈と日本解釈の違いがないかどうかの確認実施⇒特に違いは発見できなかった。

・その他

規格原案に関する単語の使い方や文章の言い回しに関して、不適切な部分がないかどうかの確認　⇒特になし。

2)　ISO 10218-Part2 事前検討

ISO 10218-Par2（産業ロボットシステムの安全要求）の項目に提案内容の検討

・ISO 10218-Part1 と Part2 の範囲の明確化

ISO 10218-Part1 は、ロボット単体に関する安全規程であり、Part2 は、ロボットシステムに関する安全規程であるが、

－「システムの定義が曖昧」

－「ISO 10218-Part1 と Part2 の適用範囲が曖昧」

であることから、米国で具体的に適用されているアプリケーションにおいて、下記のような Part2 に含まれるべきシステム定義に関する検討を行った。

①アーク溶接アプリケーション

－アーク溶接機を含めた単純ロボットシステム（アーク溶接ロボット）

－アーク溶接ロボット＋周辺機器（セルシステム）

②スポット溶接アプリケーション

－スポットガン、溶接機を含めた単純ロボットシステム（スポット溶接ロボット）

－複数台のスポット溶接ロボットからなるシステム（ラインシステム）

③ハンドリングアプリケーション

－把持装置（ハンド）を含めた単純ロボットシステム（ハンドリングロボット）

－ハンドリングロボットとアーク溶接ロボットの組合わせ（セルシステム）

－ハンドリングロボットとスポット溶接ロボットの組合わせ（セルシステム）

－ハンドリングロボットと複数のスポット溶接ロボットの組合わせ（ラインシステム）

・その他

－Part2 原案に関する過不足項目の検討

－米国固有の使われ方を考えた場合の規程内容の検討

3.4.3　SIAS2005 及び IRVS 調査

2005 年 9 月 21～23 日に米国シカゴで開催された ISO 10218 改訂プロジェクトシカゴ会議出席の機会を有効に活用し、なおかつ今後のプロジェクト会議進行を日本の産業界

にとって有利に進めるための関連技術調査として、産業オートメーションシステムの安全に関する国際会議（SIAS2005）ならびに産業用ロボットの展示会（IRVS）において、産業オートメーションシステムの安全技術とロボットの最新技術動向に関する現地調査を行ったので以下報告する。

1）ＳＩＡＳ２００５

・目的：センサ、スイッチといった一般産業機器の安全性に対する具体的な取り組みや安全に関わる考え方に関する情報収集および ISO10218 との関わりを調査

・日時：2005 年 9 月 26 日(月)- 28 日(水)　9:00-17:00

・場所：Hyatt Regency Hotel

(9300 W. Bryn Mawr Avenue Rosemont、シカゴ、イリノイ州、米国)

・出張者：松尾健治（（株）安川電機）

土肥正男（ＩＤＥＣ（株））

・SIAS の概要

SIAS（Safety of Industrial Automated Systems）とは、産業オートメーションシステムの安全に関する国際会議であり、1999 年カナダ･モントリオールで第 1 回会議が開催された後、2001 年ドイツ･ボン、2003 年フランス・ナンシーと隔年開催され、第 4 回会議は 2005 年 9 月に米国・シカゴで開催された。

この国際会議では、産業オートメーションに関して、生産性の向上だけではなく安全性を同時に実現することが必要であることから、今まで開催された 4 回の会議において、様々な産業安全に関する課題についての研究成果が発表されている。特に、人と機械の共存する環境における安全の重要性の認識が深まる中、近年はユーザビリティ、人間工学、機能安全、メンテナンス時の安全やリスクアセスメント、また安全教育も取り入れた範囲を研究対象としてきている。

この国際会議への参加者は、産業界（安全制御機器メーカ、ロボット等の機械メーカ、また機械ユーザ、システムインテグレータ、コンサルタント）のみならず、大学、国立研究機関、また認証機関や IEC/ISO 規格エキスパート等、産業オートメーションにおける安全に関する研究を行なっている広範囲の分野の専門家である。

また参加者は、ドイツ・フランス・英国・USA・カナダ・日本といった常連国を含んだ、安全技術先進国十数か国からの出席者にて構成されており、毎回親交を深めながら、熱心な討議が行なわれている状況である。日本からは第一回目の会議で 1 件発表があり、その後論文発表数が増加しており、今回の発表件数は、ドイツからの 13 件に次いで、11 件発表している。フランス、カナダといった国々と比較しても貢献度合いの活発さでは遜色なく、日本から提案する新規安全技術も多くあることから、すでに日本は安全技術発信国として位置づけられている。

・各セッションの概要とトピックス

今回の会議は 8 つのセッション、パネルデスカッションとポスタープレゼンテーションで構成された。以下に、各セッションの発表内容の概要とトピックスを順次記載する。

①Direction in Robotic Automation

セッション１では、「ロボティックオートメーションの方向性」と題して、作業者と同一のエリアで作業を行う人間-協調ロボットや、人間と生活空間をともにするサービスロボットの安全性等に関して、5 件の発表が行われた。その内 2 件は日本からの発表であり、まず、産業安全研究所の池田氏による「人間-協調ロボットの本質安全設計のための痛覚許容指標の提案」は、人間-協調ロボットのリスクアセスメントを行う上で重要な基礎データとして、痛覚許容指標を提案しており、他にないユニークな研究として活発な質問が寄せられ、注目を集めていた。また、愛知万博において 100 近いサービスロボットが出展されたが、日本からこのサービスロボットの本質安全設計に関する研究発表があり、興味を持たれていた。

その他注目すべき発表としては、ドイツの BGIA から現在作成中の国際規格 IEC61800-5-2（可変速電力ドライブシステムー第 5-2 部：安全要求事項ー機能）の紹介があった。この新しい規格は機能安全規格 IEC61508 をベースにしており、機能安全の考え方をドライブシステムに適用している。ドライブシステムは工作機械やロボットなどさまざまな機械類の駆動部として使用されているが、この規格に適合するドライブシステムを用いれば、現在、危険事象が発生した場合、駆動源の電力を遮断することでしか安全を定義できなかったのが、STO(Safe Torque Off)や SOS(Safe Operating Stop）といった新しい概念による機械の停止が実現する。さらに SLS（Safely-Limited Speed）や SLP（Safely-Limited Position）という命令を使えば、安全が保証された低速運転や、ソフト的な制限装置が実現可能であり、より高度な安全制御が実現できると考えられる。

さらに、ドイツの産官学の共同プロジェクトとして、「ASSISTOR プロジェクト」からの研究成果の発表もあり、非常に有意義な情報収集ができたと考える。

②Practical Safety Lessons

このセッションでは、実際に起きた事故事例からその原因や因子についての研究が発表され、六本木のビルの回転ドアでの事故のケーススタディも発表され興味を惹く内容であった。この事例では、回転ドアに対するリスクアセスメントが十分になされていなかったため、危険源に対して本質的な安全対策がなされていなかったと報告された。この発表はドイツの BGIA の Michael Schaefer 博士からなされたが、同様な事例が安全の先進国であるドイツでも発生し、その調査結果についても報告がなされた。ドイツにおいても一般社会への機械安全の浸透はまだ途上である一面も垣間見ることができた。

③Practical Guidance & Education

このセッションでは ISO 13849 等の安全規格をより実用的に理解し、機械の設計に取り入れる手法や、どのようにして安全技術を教育していくのか等について発表がなされた。日本からは以下の 2 件の研究発表が行なわれた。まず、セーフティネットワークを使いこなすためのガイドラインの研究が発表され、出席者からこの研究がいつごろ規格化されるのか質問があり、またセッション後の Q&A からも、このテーマについて高い関心があることがわかった。つぎにセーフティアセッサ資格制度について発表があり、この制度への参加者の規模や分野、年齢等について質問があり、新しい取組みに強い興味をもたれていた。欧米を問わず、安全技術の進歩と安全規格の増加に対して、現場の技術者等を教育し、資格を与える仕組みの必要性が同意され、特にイギリスからはこのような制度を世界的に広げるために協力して推進したいとのコメントがあった。

④Safety Related Software Practice

本セッションではソフトウェアなど先進的な安全分野の発表があり、フランスの INRS 等いずれも欧州の安全の研究機関からであった。機械による事故の原因の 60%以上が機械の故障によるものではなく、ソフトウェアが原因である可能性を否定できないことを考慮して、アプリケーションソフトの開発をする際の安全性を考慮した設計手法について提案がなされた。ソフトウェアの仕様の決定とコンポーネントへのブレークダウンそして各コンポーネントの検証と総合テストのＶ型モデルの手法が示された。

⑤Functional Safety

このセッションも欧州から 3 件の発表があった。機能安全規格 IEC61508 をベースにし機械に関する機能安全として最近発行された IEC62061 の解釈や原理の実証の研究発表がイギリス HSE Steve Frost 氏とロックウェル Derek Jones 氏の共同研究として発表があった。この規格を提案し審議した国々からの発表は、その規格の目的や、意図を具体的に知ることができ有意義であった。さらに、ケーススタディとして実例を挙げて IEC61508 や SIL（安全度水準：Safety Integrity Level）との関連を示しわかりやすい解説であった。

フランス INRS からは、類似の機能安全に関する規格をどのような観点で選択するかを図表に示し明快にした解説がなされた。さらに INRS からファジー理論と確率を応用し、不確かな機能モデルが持つ共通故障因子を導き出す手法も紹介された。これは、実際には明確に定義が困難な機能モデルの SIL を定義する一つの新しい提案である。

⑥Managing Hazards of Automated Systems

本セッションはリスクアセスメントに関する調査・研究の結果についての研究成果が発表され、スウェーデンのテトラパック社からは実際のアプリケーションでのリス

クアセスメントが適切に行われているかの調査や、自身の企業が用いているリスクアセスメント手順の有効性の検証をしていた。また、リスクアセスメントのトレーニングにより、リスク低減がどの程度までできるようになったかという興味深い研究もあった。

⑦Practical Experience with Protective Device

このセッションは、現場で使用されている安全制御機器について、新しい技術の提案やその開発背景が報告され、日本からは非常停止スイッチの新構造が報告され、多数の質問があり非常に注目を集めていた。またSICKからはライトカーテンの実際の応用例が発表された。BGIAから、ドイツ内の生産現場で、安全機器を無効化している実例が多数あることが報告がされた。

⑧Innovation and The Future

このセッションでは、革新的な新技術の研究発表等が行なわれた。なかでも日本から提案されたRFIDを機械安全の分野に応用するという提案は、多くの参加者の興味を集め各国の安全エキスパート諸氏より好意的なコメントを得ていた。具体的にはGM社でISO 10218プロジェクトメンバーでもあるMike Taubitz氏から、ISO 11161（統合生産システムにおける安全）の要求に対する具体的な提案として検討に値するテーマなので継続的に支援するというコメントがあった。

⑨Poster Presentations

ポスタープレゼンテーションは、投稿論文をわかりやすく要約したポスターを製作し、会場に展示し、参加者と対話式で討議でき、コメントを取りやすい発表形式である。ここでは、日本から5件の発表があった。

・本調査のまとめ

SIAS2005はATC(Automation Technologies Council)が主催し、RIA(Robotic Industries Association、米)やHSE（Health and Safety Executive、英）も協賛しており、今回のアナハイム会議はSIAS2005の日程に合わせて開催されたこともあり、ISO 10218改訂プロジェクトのメンバーも多数SIASに出席していた。なかでもISO 10218改訂プロジェクトの議長であるJeff Fryman氏（RIA、米）と、同じくプロジェクトメンバーのMike Taubitz氏(GM社、米)が基調講演を行い、また同メンバーのSteven Shaw氏（HSE、英）とWilliam Drotning氏(Sandia National Laboratories、米)がそれぞれセッションの議長を務めるなど、規格作成に関わる人がSIASのような国際学会や研究機関と連携・協力していることが分かった。日本でもこのような連携は非常に重要であると考える。

第5回SIASは、SIAS Scientific Committeeからの要請により、2007年秋に日本で開催されることが決定し、（社）日本ロボット工業会も後援を予定している。今までの日本からの熱心な発表が評価されたことも一因となっており、日本でこのような世

界的な産業安全に関する国際学会を開催することは、日本においてグローバルに通じる安全構築への理解を深める好機と考え、積極的に取り組むべきであると考える。

2) ＩＲＶＳ調査報告

・目的：産業用ロボットの知能化における画像処理装置と安全性との関わりについての調査及び情報収集

・日時：2005 年 9 月 29 日(木)　10:30-15:00

・場所：Donald Stephens Convention Center
(5555 N. River Rd., Rosemont、シカゴ、イリノイ州、米国)

・出張者：土肥正男（ＩＤＥＣ（株））

・調査の概要

IRVS（International Robots and Vision Show）は隔年で開催され、今回は RIA と AIA（Automated Imaging Association)が共催した産業用ロボットと画像認識装置の展示会である。SIAS2005 の会場の隣で開催されていた。今年は約１４０社が出展しており、非常に盛況であった。会場はロボットセクションとビジョンセクションの２つのセクションに分けられていた。ロボットセクションの方は、ロボットのマニュピレータに CCD カメラを取り付けた、インテリジェントロボットが数多く展示されていた。また、ビジョンセクションの方は、CCD カメラや CCD 撮像素子、照明装置、画像処理ソフトウェアなどが展示されていた。トレンドとしてはカメラや素子の小型化、高速処理化であった。今後の ISO10218 改訂作業においても、このようなインテリジェントロボットの取り扱いをどうするかという観点からも検討する必要があることが本調査で分かった。

４．まとめ

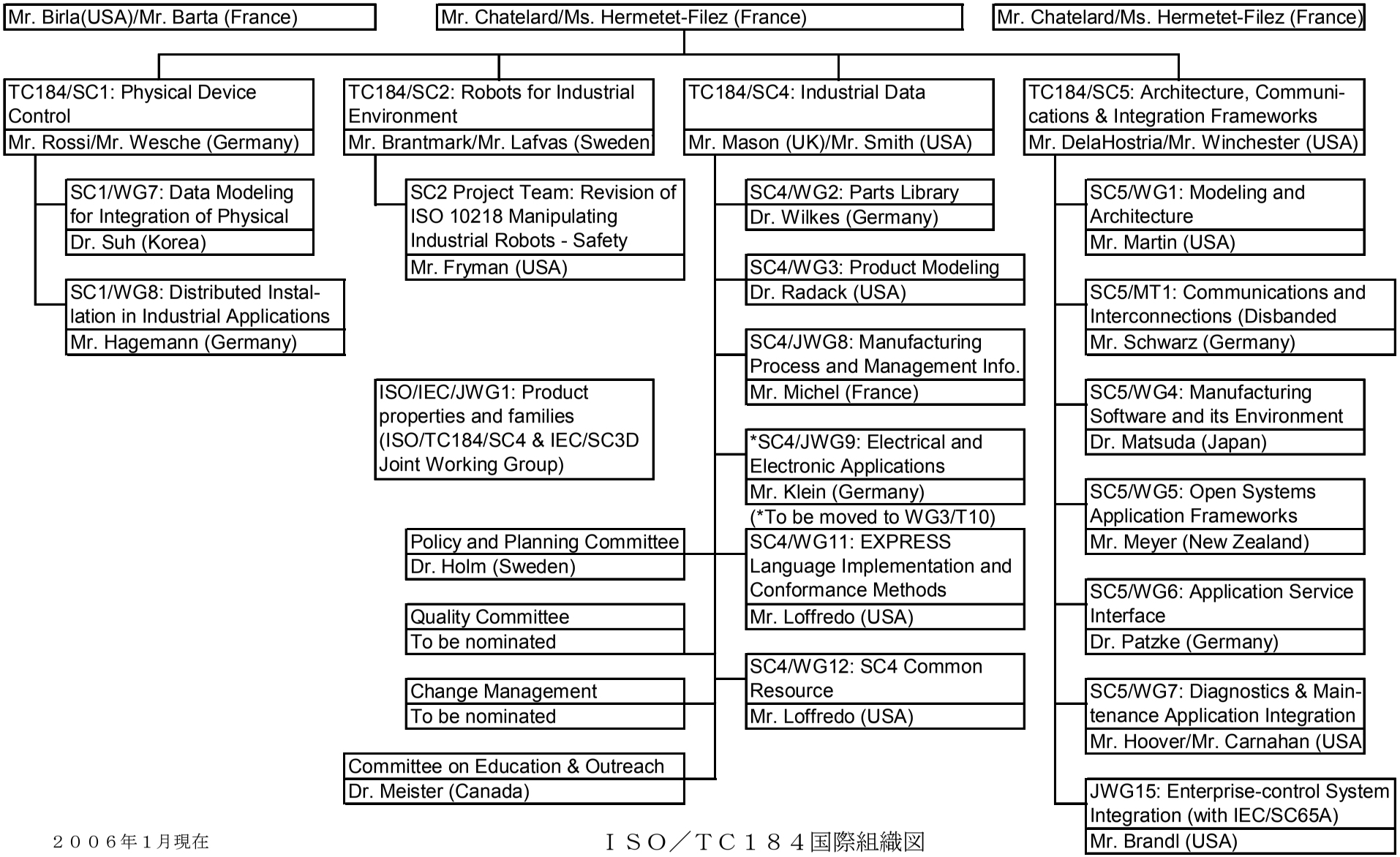
今年度は、人間共存・協調ロボットの安全基準策定に関する調査研究として、対象とするロボットの範囲を決定すると共に、規定内容については、安全性確保と安全設計の概念、安全性要求事項、使用上の情報の提供などの規定項目をまとめた。また、リスクアセスメントにおける人間共存・協調ロボット特有の指標、安全防護に関する具体的手段・要件等、使用上の情報提供の内容について検討を行った。

さらに、人間共存・協調ロボットの安全性検討に密接に関連する産業用ロボットの安全性に関する国際規格の改訂状況等の調査検討も行った。

今後は、今年度検討した結果に基づき、人間共存・協調ロボット安全基準案の規定項目の内容のについて早急に検討を行い、国際標準提案に向けて準備を整えることとする。

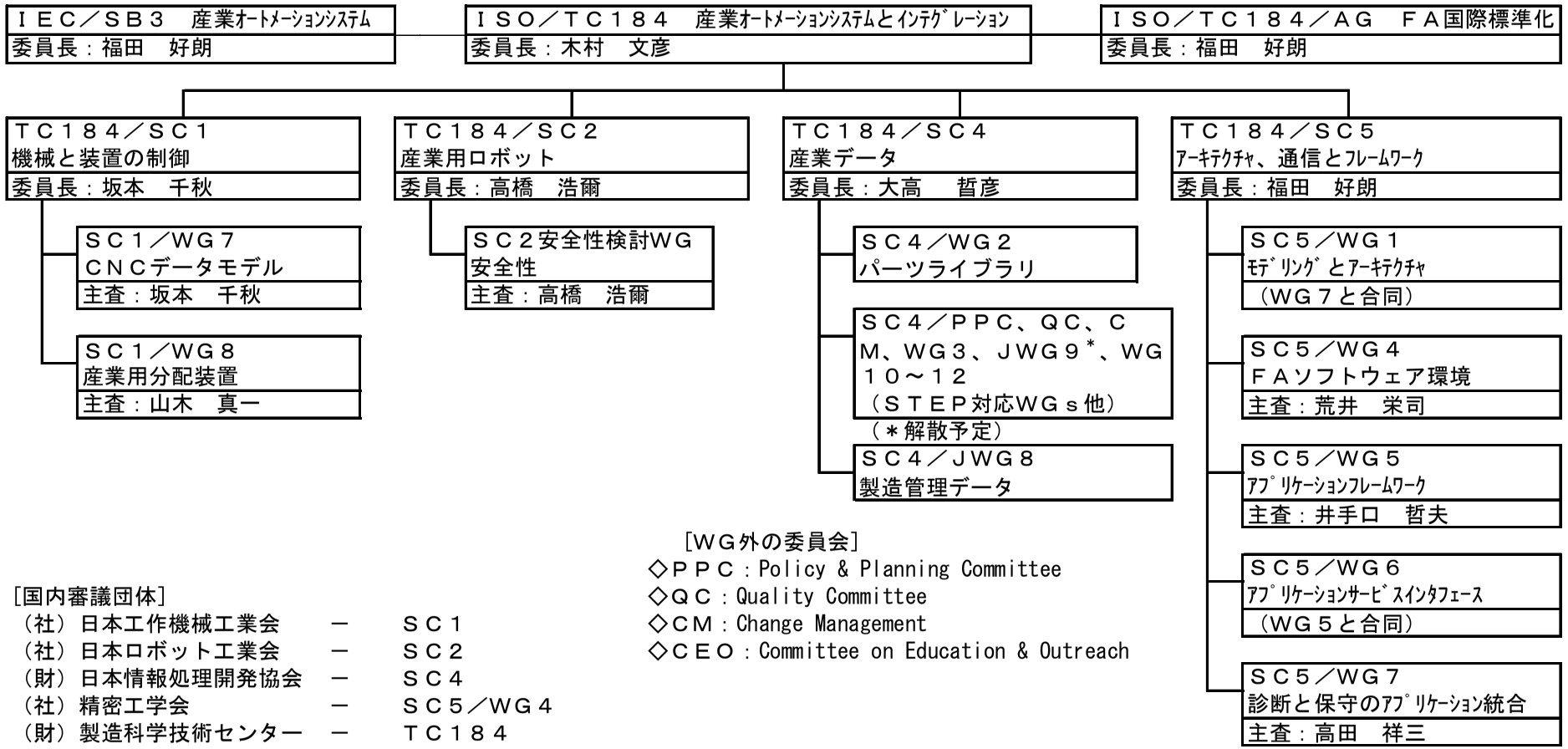
また、人間共存・協調ロボットの安全性検討に密接に関連する産業用ロボットの安全性に関する国際規格の改訂状況等の調査検討についても、引き続き実施していく必要がある。

付属資料



２００６年１月現在

ＩＳＯ／ＴＣ１８４国際組織図



［国内審議団体］

（社）日本工作機械工業会	－	ＳＣ１
（社）日本ロボット工業会	－	ＳＣ２
（財）日本情報処理開発協会	－	ＳＣ４
（社）精密工学会	－	ＳＣ５／ＷＧ４
（財）製造科学技術センター	－	ＴＣ１８４
		ＳＣ５
		（ＩＥＣ／ＳＢ３）

［ＷＧ外の委員会］

◇ＰＰＣ：Policy & Planning Committee
◇ＱＣ：Quality Committee
◇ＣＭ：Change Management
◇ＣＥＯ：Committee on Education & Outreach

ＩＳＯ／ＴＣ１８４国内組織図

２００６年１月現在

この事業は、競輪の補助金を受けて実施したものです。

非　売　品

禁無断転載

平成１７年度

人間共存・協調ロボットの安全基準策定に関する調査研究報告書

発　行　　平成１８年３月

発行者　　社団法人　日本機械工業連合会

〒105-0011 東京都港区芝公園三丁目５番８号

電話　０３－３４３４－５３８４

社団法人　日本ロボット工業会

〒105-0011 東京都港区芝公園三丁目５番８号

電話　０３－３４３４－２９１９